

Oberreich, Sven

Systemtechniken von Wärmepumpen und Vergleich ihrer Wirtschaftlichkeit

DIPLOMARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fachbereich Maschinenbau und Feinwerktechnik

Mittweida, 2010

Inhaltsverzeichnis

1 Geschichtliches.....	1
2 Allgemeine Vorbetrachtung	1
3 Prinzip der Wärmepumpe	2
4 Arbeitsprinzipien von Wärmepumpen.....	4
4.1 Kompressionswärmepumpe	4
4.2 Sorptionswärmepumpe	4
5 Betriebsweisen von Wärmepumpen	6
5.1 Notwendige Vorbetrachtung	6
5.1.1 Dimensionierungspunkt.....	7
5.1.2 Deckungsgrad	7
5.2 Monovalente Betriebsweise	7
5.3 Monoenergetische Betriebsweise.....	8
5.4 Bivalente Betriebsweise	8
5.4.1 Allgemeines	8
5.4.2 Bivalent-Parallele Betriebsweise.....	9
5.4.3 Bivalent-Alternative Betriebsweise	9
6 Wärmepumpenarten.....	10
6.1 Luft/Wasser-Wärmepumpe.....	10
6.2 Wasser/Wasser-Wärmepumpe	13
6.3 Sole/Wasser-Wärmepumpe.....	17
6.3.1 Erdkollektoren	18
6.3.2 Erdsonden	21
7 Die Technologie der Wärmepumpe gibt dem System seinen Namen	24
7.1 Erdreich/Sole.....	24
7.2 Erdreich/Direkterwärmung	25
7.3 Wasser/Wasser	26
7.4 Luft/Wasser	27
8 Platzbedarf der Wärmepumpe	29
9 Voraussetzungen für eine gute „Grundwirtschaftlichkeit“ des Gesamtsystems	29
9.1 Wärmebedarf.....	29
9.2 Systemtemperatur	30

9.3 Wärmequelle	31
9.4 Auswahl der Wärmepumpe.....	32
10 Kennzahlen	34
10.1 Leistungszahl	34
10.2 COP-Wert	34
10.3 Jahresarbeitszahl	34
10.4 Jahresaufwandszahl.....	35
11 Systemrelevante Bauteile.....	35
11.1 Verdichter	36
11.2 Wärmetauscher	36
11.3 Pufferspeicher	36
12 Stand der Technik	37
12.1 Allgemeiner Stand der Technik	37
12.2 Kompressor/Verdichter.....	38
12.3 Kältemittel.....	38
12.4 Schallschutzmaßnahmen.....	38
12.5 Verwendung der Dampfeinspritzung.....	39
12.6 Überwachungstechnik.....	39
12.7 Wärmetauscher	40
12.8 Inspektion und Wartung.....	40
13 Fördermöglichkeiten der Wärmepumpe	40
13.1 BAFA-Förderung	41
13.1.1 Basisförderung.....	41
13.1.2 Bonusförderung	42
13.1.3 Innovationsförderung	42
13.1.4 Generelle Voraussetzung für die Förderfähigkeit	42
13.2 KfW-Förderung.....	43
13.3 Förderungen durch die SAB	44
13.3.1 Energetisch Sanieren	44
13.3.2 SAB Förderergänzungsdarlehen.....	45
13.4 Förderungen durch Energieversorger	45
14 Kostenvergleich und Betrachtung der Wirtschaftlichkeit.....	45
15 Kostenvergleich und Betrachtung der Wirtschaftlichkeit.....	52
15.1 Zukunft der Wärmepumpe	52

15.2 Fazit.....	53
-----------------	----

Abkürzungsverzeichnis

Abb.:	Abbildung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
bzw.	Beziehungsweise
COP	Coeffizient of Performance
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DVGW	Deutscher Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
EHPA	European Quality Label for Heat Pumps
EnEV	Energieeinsparverordnung
etc.	et cetera
EVI	Enhanced Vapour Injektion
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
ggf.	gegebenenfalls
H-FCKW	teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditinstitut für Wiederaufbau
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
lt.	laut
P_{el}	elektrische Leistung
\dot{Q}_H	Wärme Heizen
\dot{Q}_U	Wärme Umgebung
SAB	Sächsische Aufbaubank
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
WP	Wärmepumpe
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung eines Wärmepumpenprozesses	2
Abb. 2: Schematische Darstellung eines Sorptionswärmepumpenprozesses.....	5
Abb. 3: Grundaufbau einer Luftwärmepumpe	10
Abb. 4: Luftwärmepumpe mit Energierohranschluss.....	12
Abb. 5: Grundaufbau einer Grundwassernutzung	14
Abb. 6: Hauptbestandteile bei einem Grundwassernutzungssystems	16
Abb. 7: Schematische Darstellung der Erdwärmenutzung durch Flachkollektor	19
Abb. 8: Schematische Darstellung der Erdwärmenutzung durch Knüthenkollektor	20
Abb. 9: Vertikaler Knüthenkollektor	21
Abb. 10: Horizontaler Knüthenkollektor.....	21
Abb. 11: Schematische Darstellung der Erdwärmenutzung durch Erdsonde.....	22
Abb. 12: Beispiel für eine Erdsonde.....	22
Abb. 13: Technologie der Erdreich-Sole-Wärmepumpe	25
Abb. 14: Technologie der Erdreich-Direkterwärmung-Wärmepumpe.....	26
Abb. 15: Technologie der Wasser-Wasser-Wärmepumpe	27
Abb. 16: Technologie der Luft-Wasser-Wärmepumpe.....	28
Abb. 17: Bilanzgrenzen der wichtigsten Wärmepumpenkennzahlen.....	35
Abb. 18: Verteilung der Wärmepumpe am Heizungsmarkt für 2008.....	52
Abb. 19: Luft/Wasser-Wärmepumpe Foto: Siemens.....	VIII
Abb. 20: Sole/Wasser-Wärmepumpe Foto: Siemens.....	VIII
Abb. 21: Sole/Wasser-Wärmepumpe Foto: Buderus.....	IX
Abb. 22: Wasser/Wasser-Wärmepumpe Foto: Buderus.....	IX
Abb. 23: Luft/Wasser-Wärmepumpe Foto: Buderus	IX
Abb. 24: Sole/Wasser-Wärmepumpe Foto: Viessmann.....	IX
Abb. 25: Verdampfer, Wandaufstellung Foto: Buderus.....	X
Abb. 26: Verdampfer, Wandaufstellung Foto: Dimplex	X
Abb. 27: Möglichkeiten der Abweichung für die prognostizierte/zu erwartende JAZ	XI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der Prozessstufen der Wärmepumpe.....	3
Tabelle 2: Prozessunterstufen der Sorptionswärmepumpe	5
Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Luft/Wasser-Wärmepumpe.....	13
Tabelle 4: Aufbau eines Grundwassernutzungssystems	15
Tabelle 5: Vor- und Nachteile der Wasser/Wasser-Wärmepumpe	16
Tabelle 6: Arten der Bodennutzung	18
Tabelle 7: Entzugsleistungen bei Bodennutzung (Kollektor).....	19
Tabelle 8: Vor- und Nachteile der Kollektoren.....	21
Tabelle 9: Entzugsleistungen bei Bodennutzung (Erdsonde).....	23
Tabelle 10: Vor- und Nachteile der Erdsonde.....	23
Tabelle 11: Vor- und Nachteile der Erdreich/Sole Technologie.....	25
Tabelle 12: Vor- und Nachteile der Erdreich/Direkterwärmung Technologie	26
Tabelle 13: Vor- und Nachteile der Wasser/Wasser Technologie	27
Tabelle 14: Anlagenkonfigurationen einer Luft/Wasser Wärmepumpe	28
Tabelle 15: Vor- und Nachteile der Luft/Wasser Technologie	29
Tabelle 16: Kostenvergleich der Wärmepumpe.....	47
Tabelle 17: Beispiel eines Kostenvergleichs mit nicht standardisierten Werten bezogen auf das Grundobjekt.....	50

Einleitung

Ziel dieser Diplomarbeit soll es sein, einen aktuellen Stand über die Wärmepumpentechnik zu vermitteln und der Versuch unternommen werden, die Systeme im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeit miteinander zu vergleichen.

Es soll dargestellt werden, welche Eckpunkte bei der Planung und welche Auswahlkriterien zu beachten sind.

In Anbetracht eines immer größer werdenden ökologischen Bewusstseins von Bevölkerung und Staat, sowie den daraus entstehenden neuen gesetzlichen Grundlagen wird es für die Nutzer (potentielle Bauherren) immer wichtiger, sich mit neuen Systemen, in den unterschiedlichen Bereichen, der möglichen Einsparungsgebiete, auseinander zu setzen. Dieses ist in der Regel mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Daher sollen in dieser Arbeit der Bereich der Heizungsanlagen, speziell die Systeme der Wärmepumpe, genauer beleuchtet und miteinander verglichen werden. Kerninhalte stellen dabei die Wärmepumpensysteme, die Kennzahlen der Wärmepumpe, der Stand der Technik, Fördermöglichkeiten und der Vergleich der Systeme dar.

1 Geschichtliches

Erstmals wurden Wärmepumpen in den 1970er Jahren zu Zeiten der Ölkrise vorgestellt. Da allerdings in den darauf folgenden Jahren die Ölpreise und die mit ihnen gekoppelten Gaspreise relativ günstig waren, konnte sich das damals noch sehr teure System nicht durchsetzen. Nur ein geringer Teil der Hersteller hielt an dem System fest und entwickelte es auch in der Durststreckenphase weiter. Was nunmehr dazu führte, dass das Wärmepumpensystem heute nahezu als ausgereift und sehr effektiv gilt. Einen Boom dieser Technologie ist in den 90er Jahren erstmals zu verzeichnen. In den letzten 10 Jahren ist die Anzahl der Wärmepumpe am Heizungsmarkt stetig angestiegen. Sodass sie derzeit einen Anteil von etwa 10 % besitzt.

2 Allgemeine Vorbetrachtung

Voraussetzung für die Effektivität einer solchen Anlage ist in erster Linie eine gute bis sehr gute Dämmung der Außenhülle, die genaue Ermittlung des zu erwartenden Bedarfs und die Wahl der Energiequelle.

Für die Energiequelle gilt, dass sie ganzjährig eine konstant hohe Temperatur liefern sollte, da eine Wärmepumpe am effektivsten arbeitet, wenn sie nur eine geringe Temperaturerhöhung bewältigen muss. Daraus ergibt sich im Grunde auch das Wärmeverteilsystem, welches mit der Wärmepumpe geplant werden sollt. In der Fachwelt wird stets angeraten, immer mit Flächenheizsystemen, wie Fußbodenheizungen und Wandheizungen, zu planen, da diese nur einen geringen Vorlauf von ca. 35 °C benötigen. Somit muss z.B. eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe, die durch die Umwelt gelieferten 10 °C, nur um 25 °C erhöhen, um auf die geforderte Vorlauftemperatur von 35 °C zu kommen. Daraus ergibt sich eine geringe Nutzlast der Wärmepumpe und somit auch geringer Stromverbrauch.

Neben der Wahl der Energiequelle, ist es wie gesagt wichtig, bei Neubauten auf die Einhaltung der aktuellen Wärmeschutzanforderungen zu achten, denn diese ist nicht nur ausschlaggebend für die Effizienz der Heizungsanlage, sondern auch bei Beantragung der Fördermittel berücksichtigt wird und nur durch eine optimale Wärmedämmung können die notwendigen Jahresarbeitszahlen erreicht werden.

Vorteile für die Entscheidung einer Wärmepumpe:

- man muss keinerlei Anschlusskosten beim Energieversorger bezahlen
- keine Anschaffungskosten für einen Öltank
- kein Schornstein Notwendig

Nachteil der Wärmepumpe:

- die Investitionskosten liegen 2 bis 3 mal über den Investitionskosten für konventionelle Heizungsanlagen
- sehr planungsaufwendig
- sie ist ein sehr sensibles Heizungssystem, welches schon auf geringste Veränderungen in der Nutzung reagiert

3 Prinzip der Wärmepumpe

Das Grundprinzip einer Wärmepumpe beruht auf einem thermodynamischen Kreisprozess. Dieser ist dabei links läufig und bedeutet, dass hierbei Arbeit in Wärme umgewandelt wird. In diesem Kreisprozess zirkuliert ein Wärmeträgermedium. Dieses hat die stoffliche Eigenschaft, einen viel geringeren Siedepunkt zu besitzen als Wasser und schon bei Temperaturen von Null Grad oder weniger zu verdampfen.

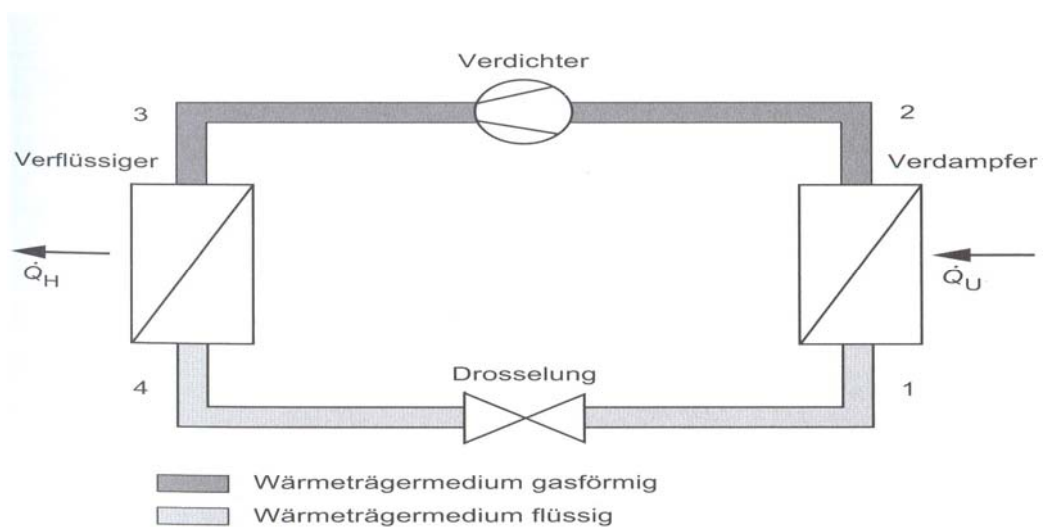


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Wärmepumpenprozesses¹

¹ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 85

In Anlehnung an Tiator und Schenker können die Prozessstufen wie folgt beschrieben werden²:

Tabelle 1: Beschreibung der Prozessstufen der Wärmepumpe

1 → 2: Verdampfer (Wärmeübertrager)

Mit Hilfe der gelieferten Umweltenergie wird das flüssige Wärmeträgermedium solange erwärmt, bis es schließlich verdampft und als Gas vorliegt.

Prozessmerkmal ist somit die Zufuhr von Wärme

2 → 3: Verdichter

Durch den Verdichter wird das Wärmeträgermedium auf einen höheren Druck gebracht, dies bedeutet, dass in dieser Prozessstufe Arbeit in Form von Kompressionsarbeit vollzogen wird. Dadurch wird ein Temperaturanstieg des Gases bewirkt.

Prozessmerkmal ist die Zufuhr von Arbeit

3 → 4: Verflüssiger

In dieser Prozessstufe wird das erwärmte Gas wieder abgekühlt. Dabei gibt es seine gespeicherte Wärmemenge an den Heizkreislauf (Heizwasser) ab und geht in seinen ursprünglichen Aggregatzustand zurück, wird also verflüssigt.

Prozessmerkmal ist die Abgabe von Wärme

4 → 1: Drosselung

In der letzten Prozessstufe wird durch die Drosselung der Druck des mittlerweile flüssigen Wärmeträgermediums reduziert. Dabei wird eine Volumenvergrößerung des Mediums erreicht, dadurch wird eine Volumenänderungsarbeit notwendig, welche zur Folge hat, dass das Wärmeträgermedium sich abkühlt. Somit wird eine Temperatur erreicht, die unter der Umgebungstemperatur liegt und der Prozess kann von vorn beginnen.

Prozessmerkmal ist die Abgabe von Arbeit

Für den Verdichter, welcher in Prozessstufe 2 → 3 zum Einsatz kommen, existieren verschiedenen Arbeitsweisen. Dem zu Folge unterteilt man Wärmepumpen in zwei Arbeitsprinzipien.

² Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme S. 86

4 Arbeitsprinzipien von Wärmepumpensystem

4.1 Elektrische Kompressionswärmepumpen

Die Funktionsweise dieser Art kann wie im obigen Bild beschrieben werden. Hierbei bringt der Kompressor (oft auch als Verdichter bezeichnet) das Wärmeträgermedium auf ein höheres Temperaturniveau. Je nach Bauart werden in der Praxis verschiedenen Kompressorarten angeboten, die gebräuchlichsten sind der:

- Scrollverdichter,
- Hubkolbenverdichter und
- Rollkolbenverdichter.

Diese 3 Verdichterarten werden in der Regel bei Wärmepumpe eingesetzt, welche bis zu einer Heizlast von bis zu 100 kW arbeiten, da hierbei der Antrieb durch einen Elektromotor vollkommen ausreichend ist. Bei Heizleistungen die über 100 kW liegen bietet sich an, einen Gas- bzw. Dieselmotor zum Antrieb zu nutzen, dabei können die Abwärme der Motorkühlung bzw. die Abwärme der Abgase ebenfalls für die Heizenergie genutzt werden. Diese sind allerdings für den Privatanwender nicht interessant bzw. ist diese Art der Nutzung nicht notwendig.

4.2 Sorptionswärmepumpe

Diese Art der Wärmepumpe funktioniert nach einem reversiblen, chemisch-technischen Prozess. In diesem Vorgang werden 2 Stoffe (welche als Gemisch vorliegen) durch die Zufuhr von Wärme getrennt. Reversibel ist dieser Prozess, weil er auch umgekehrt funktioniert, also in beide Richtungen (erwärmen und abkühlen).

Durch einen anschließenden Absorptionsprozess werden beide Stoffe wieder vereint, wobei Wärme freigesetzt wird. Eine geläufige Kombination ist dabei die Verwendung von Wasser und Ammoniak.

In Anlehnung an Abbildung 1 ändert sich der Wärmepumpenkreislauf einzig in der Prozessstufe des Verdichters, wie in Abbildung 2 ersichtlich. Hierbei wird der Verdichter durch Absorber, Lösungsmittelpumpe, Austreiber und Drosselung ersetzt.

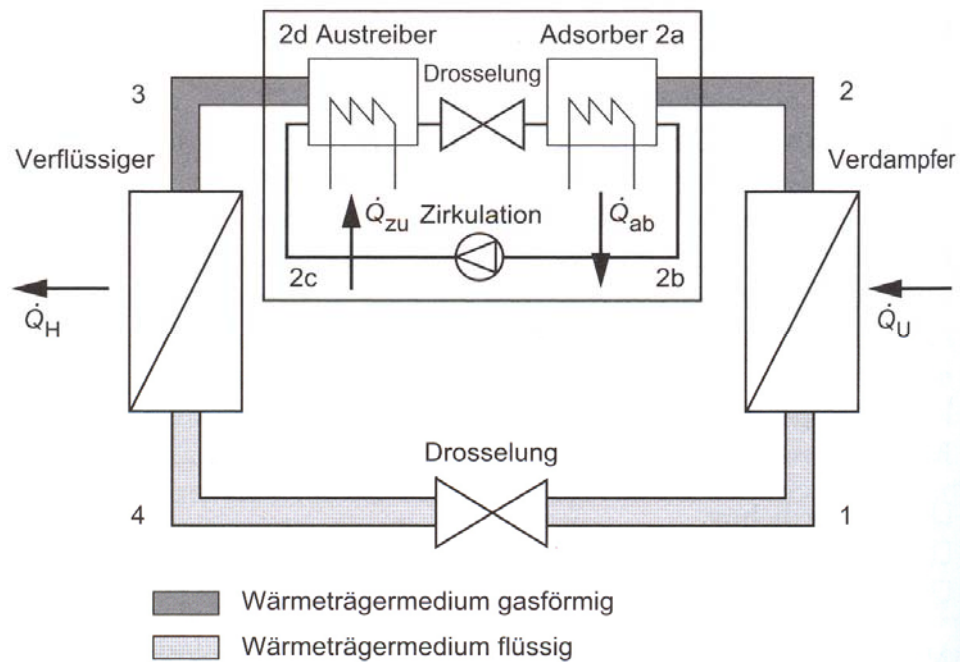


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Sorptionswärmepumpenprozesses³

Beschreiben kann man die Unterstufen wie folgt⁴:

Tabelle 2: Prozessunterstufen der Sorptionswärmepumpe

2a → 2b: Absorber

Der Kältemitteldampf gelangt in den Absorber und wird dort von einem Lösungsmittel wie z.B. Wasser gelöst (absorbiert). Bei diesem Prozess wird Wärme freigesetzt, die über einen Wärmeübertrager an das Heizungsnetz abgegeben wird.

Prozessmerkmal: Abgabe von Wärme

2b → 2c: Lösungsmittelpumpe

Durch die Lösungsmittelpumpe wird Das Stoffgemisch (mit sehr geringem Energieaufwand) zum Austreiber gefördert.

Prozessmerkmal: Zufuhr von Arbeit

2c → 2d: Austreiber (thermischer Verdichter)

Da die beiden Stoffe des Stoffgemisches (Ammoniak und Wasser) unterschiedliche

³ Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, Tiator/Schenker, S. 92

⁴ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 92

Siedetemperaturen haben, ist es möglich, durch Wärmezufuhr den Ammoniak aus dem Stoffgemisch zu verdampfen. Mit diesen Parametern kann das (Ammoniak-) Gas dem Verflüssiger zugeführt werden, und die oben beschriebene Prozessstufe 3 → 4 ist durchführbar.

Prozessmerkmal: Aufnahme von Wärme

2d → 2a: Drosselung (Expansionsventil)

Das Lösungsmittel wird über ein Drosselventil geleitet. Dadurch entspannt sich das Lösungsmittel, wobei Volumenänderungsarbeit verrichtet wird.

Prozessmerkmal: Abgabe von Arbeit

Im Gegensatz zu den elektrisch betriebenen Wärmepumpen, welche schon seit mehreren Jahren Marktreif zur Verfügung stehen, sind die gasbetriebenen Wärmepumpen noch eine relative Neuentwicklung und befinden sich derzeit in einer frühen Markteintrittsphase.

5 Betriebsweisen von Wärmepumpen

5.1 Notwendige Vorbetrachtungen

Im Bereich der Wärmepumpe haben sich im Laufe der Zeit 4 Betriebsweisen herausgebildet, welche Betriebsweise für das gewählte Objekt das Beste ist, hängt davon ab wie sie genutzt werden soll. Sprich ob die Wärmepumpe nur für das Heizsystem (hierbei ist noch die Entscheidung für Platten- oder Flächenkollektoren von Nöten) genutzt werden soll oder ob sie auch den Warmwasserbedarf mit abdecken muss. Denn aus diesen unterschiedlichen Anforderungen ergeben sich unterschiedliche Temperaturen, welche zu liefern sind.

Die 4 Betriebsweisen sind⁵:

- monovalente Betriebsweise,
- monoenergetische Betriebsweise,
- bivalent-parallele Betriebsweise,
- bivalent-teilparallele (alternative) Betriebsweise.

Es ist hierbei zu beachten, dass die Betriebsweise von der genutzten Wärmequelle abhängt. Je

⁵ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 93

nach ausgewählter Betriebsart sind folgende 2 Auswahlkriterien zu beachten. Diese sind der Dimensionierungspunkt und der Deckungsgrad.

5.1.1 Dimensionierungspunkt

Dieser definiert, welche die niedrigste Außentemperatur ist, bis zu der die Wärmepumpe die gesamte Heizwärmemenge liefern kann.

5.1.2 Deckungsgrad

Der Deckungsgrad ist eine prozentuale Angabe. Er trifft eine Aussage darüber, wie viel der jährlich notwendigen Heizwärmemenge durch die Wärmepumpe geliefert wird.

Durch die Bewertung beider Auswahlkriterien kann festgestellt werden, welche Wärmepumpenanlage mit welcher Wärmequelle für das gewählte Objekt die optimale Nutzung erzielt. Des Weiteren kommt die gewählte Betriebsweise im Optimierungsprozess zum Tragen. Grundlegend gilt allerdings, dass es keine Einheitslösung für die Auswahl geben kann, vielmehr sollten die Faktoren

- Wärmepumpenanlage,
- Wärmequelle,
- Betriebsweise und
- gegebenes Objekt

im Zusammenhang betrachtet werden, da nur ein optimales Zusammenspiel aller Faktoren ein energetisch sinnvolles Ergebnis liefert.

5.2 Monovalente Betriebsweise

In dieser Betriebsart ist die Wärmepumpe einzig für die Heizenergieversorgung, gegebenenfalls auch Warmwasserversorgung, des Gebäudes zuständig. Sie ersetzt dabei den Heizkessel, was zur Folge hat, dass dadurch die Investitionskosten für diesen gespart werden können.

Durch Verwendung eines geeigneten Kältemittels ist möglich, die Wärmepumpe für alle Heizsysteme (einschließlich der Warmwasserbereitung) mit einer Maximaltemperatur von bis zu

70 °C zu betreiben.

Voraussetzung für diese hohe Vorlauftemperatur ist bei einem monovalenten Betrieb, der Einsatz einer Sole/Wasser- bzw. Wasser/Wasser-Wärmepumpe, da nur diese eine ausreichend hohe und konstante Wärmequellentemperatur liefern können. Des Weiteren setzt der monovalente Betrieb voraus, dass die Wärmepumpenanlage optimal auf den Wärmebedarf angepasst ist, daraus ergeben sich für diese Betriebsweise zwei Vorzugseinsatzgebiete:

- Neubau bzw.
- Niedrigenergiegebäude/-häuser.

5.3 Monoenergetische Betriebsweise

Bei dieser Art des Betriebes übernimmt die Wärmepumpe den Hauptanteil am Heizsystem. Fallen allerdings die Außentemperaturen zu stark ab, wird automatisch eine elektrische Zusatzheizung eingeschaltet und ergänzt die Wärmepumpe im Betrieb. Dies hat Dimensionierungsvorteile, da die Anlage bezüglich ihrer Entzugsleistung kleiner geplant werden kann.

Da die Zusatzheizung als Hilfsenergieart ebenfalls die Elektroenergie nutzt, es wird also nur eine Energieart verwendet, aus diesem sich auch der Name der Betriebsart, monoenergetisch, ableitet. Unter Beachtung der Normaußentemperaturen, welche in der DIN EN 12831 Bl. 1 hinterlegt sind, lässt sich für monoenergetische Betriebsweisen der Dimensionierungspunkt, je nach Auslegungsort auf ein Temperaturintervall von -5 bis -3 °C festlegen. Dies hat zur Folge, dass ein Deckungsgrad der Anlage von 95 % erreicht werden kann.

Zum Einsatz kommt diese Betriebsweise in den meisten Fällen bei der Luft/Wasser-Wärmepumpe.

5.4 Bivalente Betriebsweise

5.4.1 Allgemeines

Hierbei, existiert neben der Wärmepumpe ein zweites Heizsystem, welches sie bei tieferen Außentemperaturen unterstützt. In der Regel sind dies Öl- oder Gasheizsysteme. Die Entscheidung, wann das zweite System einspringt hängt von 2 Faktoren ab. Einer hohen Vorlauftemperatur auf der einen Seite und dem nicht Erreichen der geforderten Höchsttemperatur

durch den Wärmestrom der Wärmequelle.

Um den Zeitpunkt des Zuschaltens festzulegen wird auch hier der Dimensionierungspunkt bestimmt, welcher in der Praxis als Bivalenzpunkt bezeichnet wird. Er hängt dabei von der Anlagenspezifikation und/oder der Wärmequelle. Je nach Anlagenspezifikation ergeben sich hieraus zwei verschiedene Betriebsweisen, die bivalent-parallele und die bivalent-alternative Betriebsweise.

Der bivalente Betrieb ist in der Regel nur bei Sanierungen bzw. Modernisierungen sinnvoll, da somit ein funktionsfähiges Altsystem erhalten werden kann.

5.4.2 Bivalent-parallele Betriebsweise

Bei dieser Betriebsweise decken die beiden Heizsysteme (Wärmepumpe und Öl- bzw. Gaskessel), ab einer vorher definierten Außentemperatur, gemeinsam den Heizwärmebedarf des Gebäudes. Liegt die Außentemperatur über dem definierten Grenzwert, arbeitet hierbei die Wärmepumpe allein. Somit ist ersichtlich, dass die Wärmepumpe auf das gesamte Jahr gesehen den Hauptanteil der Heizenergie liefert.

Für die Berechnung des Bivalenzpunktes ist ebenfalls die Normaußentemperatur des Auslegungsortes zu beachten. Grundsätzlich hat sich aber in der Praxis das Temperaturintervall von -3 °C bis +3 °C bewährt. Bei Beachtung dieses Intervalls ist es durchaus möglich einen Deckungsgrad der Anlage von 80 % zu erreichen.

5.4.3 Bivalent-alternative Betriebsweise

Anders als bei der bivalent-parallelen Betriebsweise übernimmt hier der Alternativwärmeerzeuger ab dem Dimensionierungspunkt die vollständige Wärmeerzeugung. Die Wärmepumpe schaltet sich dabei ab. Das Dimensionierungsintervall, wieder in Anlehnung an die Normaußentemperatur des Auslegungsortes, liegt ebenfalls im Bereich von -3 °C bis +3 °C.

Aufgrund der Stillstandszeiten der Wärmepumpe erreicht diese Betriebsart nur einen Deckungsgrad von ca. 60 %.

Vorteil dieses Betriebs ist, dass alle Heizungssysteme genutzt werden, da mit ihr auch sehr hohe Vorlauftemperaturen möglich sind. Analog der bivalent-parallelen Betriebsweise wird sie ebenfalls bei Sanierungsprojekten eingesetzt, allerdings ist zu bemerken, dass bedingt durch den geringen Deckungsgrad, ihr Einsatz heute nicht mehr zeitgemäß und sinnvoll ist.

6 Wärmepumpenarten

6.1 Luft/Wasser-Wärmepumpe

Grundlagen

Eine Luft/Wasser-Wärmepumpe eignet sich immer da, wo Grundwasser- und Erdreichnutzung nicht möglich ist. Vor allem aber sind sie zur Nachrüstung von bestehenden Heizungsanlagen oder wie beschrieben dem bivalenten Betrieb, im Bereich der Sanierung oder Modernisierung geeignet. Wie aus der Abbildung 3 ersichtlich ist, sind die Komponenten des Wärmepumpenkreislaufes nicht zwingend miteinander, in einem Hauptgerät, verbunden. Dies hat den Vorteil der Platzersparnis im Gebäude und der optimalen Standortwahl der Teilgeräte.

Aus der Grafik und der Kenntnis des Wärmepumpenkreislaufes ist es weiterhin sinnvoll sich dafür zu entscheiden, den Verdampfer im Freien aufzustellen. Dieser kann dadurch einen hohen Wirkungsgrad erzielen. Technisch ist es ebenso möglich die gesamte Anlage im Freien aufzustellen.

Zu beachten ist, dass bei einer Außenaufstellung des Verdampfers, aufgrund der sinkenden Außentemperaturen bis in den Minusgradbereich, seine Leistungszahl kleiner werden kann. Daher empfiehlt es sich, auf eine integrierte Abtaueinrichtung zu achten, somit ist die Wärmepumpe auch bei Temperaturen von -15 °C bis sogar -25 °C funktionsfähig.

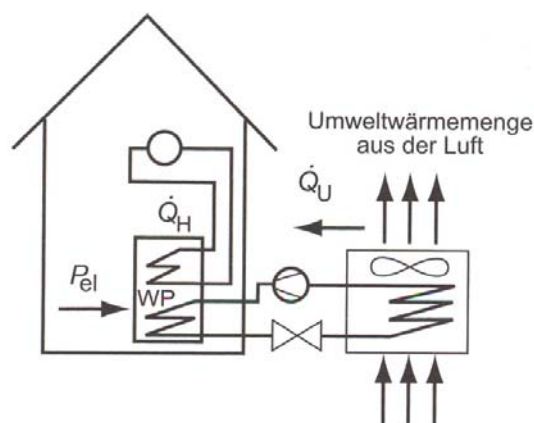


Abb. 3: Grundaufbau einer Luftwärmepumpe⁶

⁶ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 108

Aufbau der Anlage

Wie in der Grafik zu erkennen ist, wird der Hauptteil der Wärmepumpe im Gebäude als Kompaktanlage realisiert. In diesem Gerät sind alle Elemente des Wärmepumpenkreislaufes enthalten: Kompressor, Verflüssiger und Drosselsystem. Nur der Verdampfer wird im Freien aufgestellt. Dadurch ist es möglich ein hohes Volumen der Umgebungsluft mit Hilfe eines Ventilators durch den Verdampfer zu transportieren und auf zusätzliche Anlagetechnik, wie z.B. Rohrleitungen und Kanäle, kann verzichtet werden. Dabei gibt die Luft so viel Energie ab, wie das Wärmeträgermedium im Wärmepumpenkreislauf zum Verdampfen benötigt. Dabei ist festzuhalten, dass die benötigte Luftmenge in unbegrenztem Maße vorliegt und genutzt werden kann. Parallel hierzu ist auch keine Regenerationszeit der energetisch bereits genutzten Luftmenge von Nöten. Diese Tatsache hat zur Folge, dass dem Nutzer theoretisch eine unbegrenzte Energiemenge zur Verfügung steht, damit ist die Auslegung/Dimensionierung der Anlage von entscheidender Bedeutung. Es ist wichtig zu wissen welcher Volumen- bzw. Massenstrom dem Ventilator zuzuführen ist, da diese Kennzahl weiteren Einfluss auf die noch zu planenden Bauteile hat (Rohrdurchmesser, Kältemittel, etc.) hat.

Problem für den Nutzer einer solchen Anlage besteht durch den in der Luft gebunden Wasserdampf. Dieser liegt je nach Außentemperatur in unterschiedlich großer Menge vor und wird bei sinkenden Temperaturen von der Luft in Form von Wasser abgegeben. Dieses Wasser kondensiert, auch als Austauung bezeichnet, nun an der Oberfläche des Wärmeübertragers. Bei Temperaturen unter 0 °C kommt es dadurch zwangsläufig zur Eisbildung, was zur Folge haben kann, dass sich der Wirkungsgrad verkleinert. Um einen Komplettausfall der Anlage durch zu starke Vereisung zu vermeiden, ist bei vielen Verdampfern eine Abtauvorrichtung integriert. Dabei wird der Kreisprozess kurzzeitig umgekehrt um die Kühlrippen zu enteisen und gleichzeitig angefallenen Schmutz abzuwaschen. Bedingt durch diese technische Lösung ist es möglich Luftwärmepumpen bis zu einer Außentemperatur von bis zu -25 °C zu betreiben. Da sich bei so geringen Außentemperaturen der Wirkungsgrad extrem verschlechtert, dass es keinen Sinn machen würde sie bei diesen Temperaturen noch zu betreiben, hat sich in der Praxis eine Nutzungsuntergrenze von maximal -5 °C bewährt.

Aus diesem Sachverhalt heraus erklärt sich die Nutzung/Planung der Luftwärmepumpe als Bivalentes-System. Mit der Abhängigkeit von Leistungszahl zu Höhe der Umgebungstemperatur, ist es allerdings Sinnvoller sie statt bis zu -5 °C nur bis zu einer Außentemperatur von 2 °C als Alleinsystem zu planen. Dies wirkt sich nicht nur positive auf die Leistungszahl aus, sondern verhindert auch weitgehend ein Einfrieren des Verdampfers.

Wenn man bei niedrigen Außentemperaturen auf den Einsatz zusätzlicher Energie verzichten will, lohnt es sich über den Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen, wie z.B. Abluftwärmetauscher oder die Verlegung von Energierohren nachzudenken. Beide Möglichkeiten haben den Vorteil, dass die Zuluft des Verdampfers vorgewärmt wird und somit eine höhere Leistungszahl des Gesamtsystems erreicht wird. Dabei kommt das Energierohr nur zum Einsatz, wenn die Voraussetzung Temperatur Erde > Temperatur Luft erfüllt ist, andernfalls wird die Luft direkt zum Verdampfer geleitet.

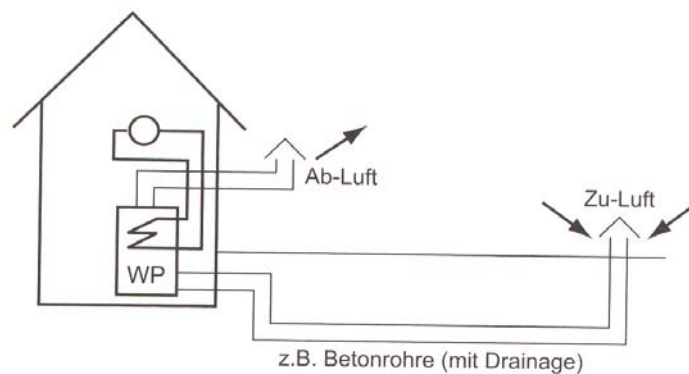


Abb. 4: Luftwärmepumpe mit Energierohranschluss⁷

Bei einer bivalenten Betriebsweise wird in der Regel ein elektrischer Heizstab verwendet. Dieser nutzt wie die Wärmepumpe Elektroenergie für seine Betrieb. Aus diesem Grund spricht man dabei von einer bivalenten-monoenergetischen Betriebsweise. Bei sachgemäßer Auslegung der Wärmepumpe hat dieser allerdings nur einen Anteil von 1 % bis 4 % an der Wärmeerzeugung in der gesamten Heizperiode. Dadurch entstehen für ein Einfamilienhaus im Durchschnitt Betriebsmehrkosten von 50,- bis 100,- €.

Die Erschließungskosten für die Wärmequelle Luft liegen gerade einmal bei 250,- bis 500,- €, exklusive eventuell notwendiger Fundamente.

Zu beachtende Normen bei der Aufstellung

Für die Entscheidung, dass der Verdampfer im freien Aufgestellt wird ist darauf zu achten, dass die Verwaltungsvorschriften nach Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) auf Grundlage der technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) eingehalten werden. Diese besagt, dass der Lärmpegel tagsüber maximal bei 50 dB[A] und nachts maximal bei 35 dB[A] liegen darf.

⁷ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 111

Um sich unter diesen Angaben etwas vorstellen zu können, folgende Anmerkung. Wenn der Mensch seine Umgebung als still empfindet sind dies nicht etwa 0 dB, wie man annehmen könnte. Der „Stillebereich“ liegt ca. bei 35 dB und ein normales Gespräch unter Erwachsenen Personen liegt bei ca. 65 dB.

Wenn Hersteller ihre Anlagen demzufolge als „flüsterleise“ bezeichnen liegt die Geräuschbelastung in diesem Intervall.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile der Luft/Wasser-Wärmepumpe

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• einfache Installation (zum Teil auch ohne Fachhandwerker durchführbar)• die Wärmequelle ist kostengünstig zu erschließen• bei hohen Außentemperaturen hat sie eine hohe Leistungszahl• es ist kein Bewilligungsverfahren der Behörde notwendig• an das Grundstück sind keine besonderen Anforderungen gegeben• der nutzbare Temperaturbereich liegt bei 35 °C bis -25 °C
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• sie unterliegt starken Temperaturschwankungen• durch diese Schwankung ist auch die Leistungszahl nicht konstant• kann nicht die Leistungszahlen von Sole/Wasser- bzw. Wasser/Wasser-Wärmepumpen erreichen

6.2 Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Grundlagen

Wenn sich für dieses System entschieden wird, erfolgt die Realisierung über den Bau einer Brunnenanlage.

Als Voraussetzung hierfür ist es notwendig, dass ausreichend Grundwasser in einer vertretbaren Tiefe vorhanden sein muss. Ab einer Tiefe von 2 Metern, kann von einer konstanten Wassertemperatur von 8 °C bis 12 °C ausgegangen werden. Diese steht dabei ganzjährig zur Verfügung, wodurch die Heizungsanlage einen optimalen Betrieb mit hohen Leistungszahlen garantiert.

Aufgrund der Nutzung von Grundwasser für den Betrieb ergibt sich, dass sie bewilligungspflichtig ist. Der Antrag ist dabei bei der unteren Wasserbehörde zu stellen.

Für einen stetig guten Betrieb der Wärmepumpe sollte ein Grundwasserdurchfluss von 2 m³ pro Stunde gegeben sein. Neben der Wassermenge sollte weiterhin die Fließrichtung des Grundwassers beachtet werden. Das bedeutet, dass darauf geachtet werden sollte, dass der Sickerbrunnen strömungstechnisch nicht vor dem Förderbrunnen liegt. Dieser würde dadurch kälteres Wasser für die Wärmerzeugung fördern als es möglich ist. Was eine Absenkung der Jahresarbeitszahl zur Folge hätte.

Aufbau der Anlage

Wie Abbildung 5 zu erkennen ist besteht die Anlage aus zwei Brunnenanlagen. Mit Hilfe von einer Förderpumpe wird dabei das Grundwasser dem Förderbrunnen (auch als Ziehbrunnen bezeichnet) entnommen. Das geförderte Brunnenwasser wird nun der Wärmepumpe, genauer dem Verdampfer, zugeführt. In dem Verdampfer wird dann dem Wasser, die notwendige Energie für den Wärmepumpenkreislauf entzogen. Nachdem Entzug der Wärme wird das Wasser über den Sickerbrunnen (auch Schluckbrunnen genannt) an den Grundwasserkreislauf zurückgegeben. Wie aus dem Aufbau zu erkennen ist, hat das Wärmeträgermedium eine ganzjährig eine hohe Grundwärme von 8 °C bis 12 °C, dadurch kann von einer hohen Leistungszahl ausgegangen werden.

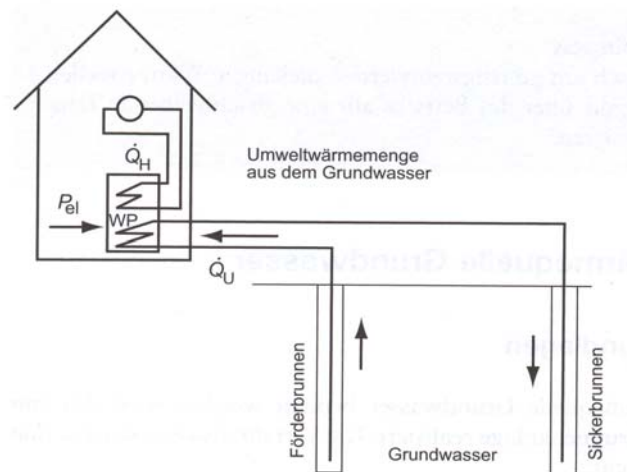


Abb. 5: Grundaufbau einer Grundwassernutzung⁸

Bei der Errichtung der Brunnen sollte beachtet werden, dass beide Brunnen einen Mindestabstand von 15 m haben. Dadurch wird verhindert, dass sich beide Brunnen wassertechnisch beeinflussen. Gleichzeitig wird ein energetischer Kurzschluss verhindert, d.h., dass das Grundwasser genügend Zeit hat sich energetisch zu regenerieren.

⁸ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 102

Neben der energetischen Betrachtung sollte die sensorische Untersuchung des Grundwassers nicht vergessen werden. Denn bei der Nutzung von Grundwasser ist darauf zu achten, dass dieses möglichst unaggressiv ist, d.h. ein geringer Anteil von Schwebeteilchen und eine geringe Klakkonzentration, sollten gegeben sein. Ein zu großer Anteil dieser Verunreinigungen könnte ansonsten zu einem übermäßigen Verschmutzen, Verkalken der eingebauten Filter führen und dadurch einen negativen Einfluss auf die Betriebskosten haben. Daher ist es ratsam eine Analyse des Grundwassers zu veranlassen oder sich bei der Wasserbehörde zu informieren.

Bauteile eines Grundwassernutzungssystems

Der Aufbau kann wie in Tabelle 4 dargestellt, in Anlehnung an Tiator und Schenker, wie folgt beschrieben werden⁹:

Tabelle 4: Aufbau eine Grundwassernutzungssystems

Brunnenschacht	Der Brunnenschacht besteht aus einem Filterrohr. Es ist im Erdreich mit Filterkies umgeben, so dass beim Einstromen von Wasser ein Filterprozess entsteht.
Tauchpumpe	Die Tauchpumpe befindet sich direkt im Grundwasser. Das hat den Vorteil, dass das Wasser durch die Pumpe nur „gedrückt“ wird. Eine Saughöhe muss dadurch nicht beachtet werden, was pumpentechnisch günstiger ist.
Filter	Das von der Tauchpumpe geförderte Grundwasser, sollte besser vor dem Eintritt in den Wärmeübertrager noch einmal gefiltert werden. Damit wird erreicht, dass sich der Wärmeübertrager nicht so schnell mit Schmutzpartikeln zusetzt und eine einwandfreie Wärmeübertragung (ohne große Energieverluste) über einen langen Zeitraum wartungsfrei erfolgen kann. Der Filter sollte rückspülbar sein, um große Druckverluste bei Standzeiten des Filters zu vermeiden.
Wärmeübertrager	Im Wärmeübertrager gibt das Grundwasser seine Energie an das im Wärmepumpenkreislauf zirkulierende Wärmeträgermittel ab, das dadurch verdampft. Je nach Konstruktion sind verschiedene Wärmeübertragertypen

⁹ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 105

möglich:

- Platten-Wärmeübertrager,
- Rohrbündel-Wärmeübertrager und
- Spiralrohr-Wärmeübertrager.

Wasserzähler Zum Nachweis über die Gesamtwassermenge, die aus dem Brunnensystem entnommen wird, wird ein Wasserzähler in die Rohrleitung des Sickerbrunnens eingebaut.

Rohrleitung Je nach Qualität und Eigenschaften des Grundwassers können spezielle Rohrwerkstoffe zum Einsatz kommen. Vorrangig könnten Kunststoffrohre eingesetzt werden.

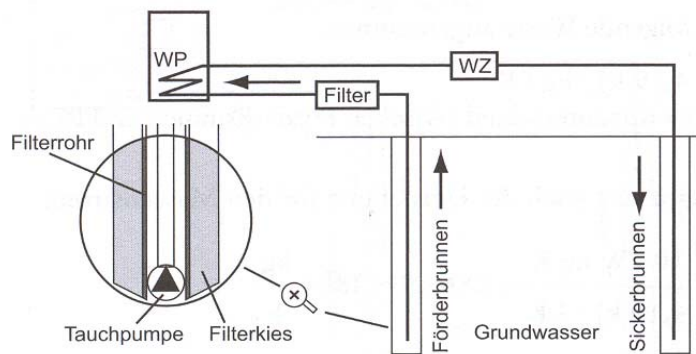


Abb. 6: Hauptbestandteile bei einem Grundwassernutzungssystem¹⁰

Tabelle 5: Vor- und Nachteile der Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• ganzjährig relativ konstant hohe Temperatur steht zur Verfügung• das Temperaturniveau liegt im Bereich von 8 °C bis 12 °C• hat den höchsten Wirkungsgrad
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• sehr hohe Investitions- und Erschließungskosten• Anforderungen an die Wärmequelle sind hoch (geringer Anteil von Schwebeteilchen, ausreichendes Vorkommen)• Genehmigungspflichtig• die zum Einsatz kommenden Pumpen benötigen relativ viel Strom, welche die Jahresarbeitszahl negativ beeinflussen können

¹⁰ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 104

6.3 Sole/Erdreich-Wärmepumpe

Grundlagen

3. Möglichkeit gespeicherte Umweltwärme zu nutzen ist eine Wärmepumpenanlage, welche sich die gespeicherte Energie aus dem Erdreich zieht. Dieses Energievolumen steht durch die gespeicherte Sonnenenergie bzw. Energie, welche durch das Regenwasser in tiefere Erdschichten transportiert wurde, zur Verfügung.

Das Erdreich ist auf Grund seiner Beschaffenheit ein sehr guter Wärmeabsorber und durch sein großes Vorkommen ein ebenso guter Wärmespeicher. Bei der Nutzung dieses Speichers entsteht nun ein Wärmestrom, der die Nutzungsfläche innerhalb der Nutzungszeit auskühlt. Daher ist es notwendig bei der Planung darauf zu achten, dass sich diese Fläche energetisch regenerieren kann, um der Wärmepumpe einen kontinuierlichen Wärmestrom gewährleisten zu können. Da dieser erneute Wärmeeintrag, wie bereits erwähnt nur über Sonnenstrahlen und Regenwasser erfolgt, ergeben sich folgende Anforderungen an die Nutzungsfläche:

- sie muss möglichst frei gehalten werden und nur ganz gering verschattet,
- ebenfalls sollte darauf geachtet werden, dass nicht zu viel Bepflanzung vorhanden ist, um einen Konflikt mit dem Regenwassereintrag in das Erdreich zu vermeiden,
- zusätzlich sollte für eine gute Wasserversorgung der Fläche gesorgt werden, z.B. durch die Nutzung von gesammeltem Regenwasser für die Bewässerung

Aufbau der Anlage

Wer sich für diesen Betrieb einer Wärmepumpe entscheidet hat die Möglichkeit zwischen 2 Technologien der Nutzung zu wählen. Die erste ist die Wärmegewinnung durch das Verlegen von Erdkollektoren. Diese werden auf einer großen Fläche, unterhalb der Frostgrenze im Erdreich verlegt. Sie nutzt damit oberflächennahe Wärme. In der zweiten Variante werden Erdsonden eingesetzt. Dazu ist es notwendig, dass eine Tiefenbohrung vorgenommen wird, welche in ihren Ausmaßen nicht größer als der Durchmesser einer CD ist und deren Tiefe von dem notwendigen Wärmebedarf des Gebäudes, sowie der Bodenbeschaffenheit abhängt. Sie ist genau dann sinnvoll, wenn nicht genügend Freifläche zur Verfügung steht um Kollektoren zu verlegen.

Unabhängig der gewählten Technologie unterscheidet man die Bodennutzung in zwei Varianten,

wie in Tabelle 6 beschrieben¹¹.

Tabelle 6: Arten der Bodennutzung

Direkterwärmung	Hierbei zirkuliert das Arbeitsmittel der Wärmepumpe auch als Wärmeträgermedium im Erdkollektor. Somit wird der Kollektor direkt in den Wärmepumpenkreislauf eingebunden. Aus diesem Grund kann bei dieser Variante auf den Einsatz von Zwischenwärmeübertrager und Solewärmepumpe verzichtet werden.
Sole	<p>Es zirkuliert das Wärmeträgermedium Sole in einem separaten Kreislauf, dabei nimmt es die Wärme des Erdreichs auf.</p> <p>Unter Sole wird ein Wärmeträgermedium verstanden, dessen Gefrierpunkt unter dem von Wasser liegt, da dieses erstarrungs- bzw. schmelztemperatursenkende Zusätze enthält. Dadurch wird das Einfrieren, des Kreislaufes, verhindert.</p> <p>Anders als bei der Direkterwärmung kann hierbei nicht auf den Einsatz von Zwischenwärmeübertrager und Solewärmepumpe verzichtet werden, diese sind zwingend notwendig.</p>

6.3.1 Erdkollektoren

Bei der Verlegung von Erdkollektoren kann wiederum in zwei Arten unterschieden werden. Diese sind zum einen die „normal“ Verlege von Flachkollektoren (ähnlich der Verlegung einer Fußbodenheizung) und das Einbringen von Knüthenkollektoren.

Flachkollektoren

Die Verlege von Flachkollektoren kann man sich ähnlich wie das Verlegen einer Fußbodenheizung vorstellen. Sie werden frostsicher in einer Tiefe von 120 bis 140 cm im Erdreich eingebracht. Weiterhin ist auf einen Abstand der Rohre von 50 bis 80 cm zu achten, um eine energetische Beeinträchtigungen auszuschließen.

Aufgrund der bestehenden Abhängigkeit zwischen Übertragerfläche und benötigter

¹¹ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 118

Wärmeleistung, sollte beachtet werden, dass bei größerer Heizleistung auch eine größere Fläche für den Entzug genutzt werden muss. Dabei kann als Kalkulationsgröße folgend Aussage getroffen werden: Die Wärmeentzugsfläche sollte das 1,5 bis 2,0-fache der zu beheizenden Fläche betragen.

Je nach Art des Bodens kann von folgenden Entzugsleistungen ausgegangen werden¹²:

Tabelle 7: Entzugsleistungen bei Bodennutzung (Kollektor)

Bodenbeschaffenheit	Spezifische Entzugsleistung [W/m]
Trockener Boden	10
Feuchter Boden	20...30
Wassergesättigter Boden	40

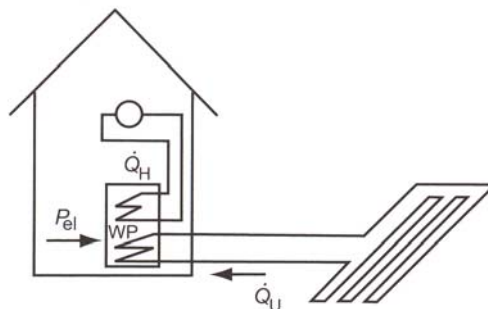


Abb. 7: Schematische Darstellung der Erdwärmenutzung durch Flachkollektor¹³

Knünnenkollektoren

Der Knünnenkollektor ist die optimale Lösung, wenn viel Wärmeübertragerfläche auf möglichst wenig Grundfläche untergebracht werden soll, ohne eine Sondenbohrung vornehmen zu müssen. Denn hierbei sind die Rohre des Wärmeübertragers spiralförmig angeordnet. Je nach Auslegung beträgt der Durchmesser dabei 15 bis 120 cm. Weiterhin kann man ihn auf zwei Arten verlegen: horizontal und vertikal. Der Unterschied der beiden Verlegearten liegt einzig darin, dass bei der vertikalen Verlegeart Löcher mit einer Tiefe von 3 m, inkl. 1 m Überdeckung für die Frostsicherheit und bei der horizontalen Verlegung, Gräben mit einer Tiefe von 2 bis 3 m

¹² Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 119

¹³ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 118

ausgehoben werden müssen. Unabhängig von der Verlegeart sollte auf einen Abstand von 3 m bis 4 m zwischen 2 Knüthenkollektoren geachtet werden um eine energetische Beeinflussung zu vermeiden.

Die Entzugsleistung von Knüthenkollektoren hängt somit von folgenden Faktoren ab:

- Dimension des Kunststoffrohres,
- Durchmesser der Spirale,
- Länge des Knüthenkollektors,
- Bodenart.

Die Vorteile des Knüthenkollektors können schließlich nochmal in folgenden 4 Punkten festgehalten werden:

- die Wärmetauscherfläche wird auf kleinem Raum vergrößert,
- der Platzbedarf des gesamten Systems ist geringer,
- es ist eine kostengünstige, oberflächennahe Verlegungsmöglichkeit, welche sich in den Arbeitsgängen gut optimieren lässt,
- eine schnelle und natürliche Regeneration der Wärmequelle ist durch die oberflächennahe Verlegung gewährleistet.

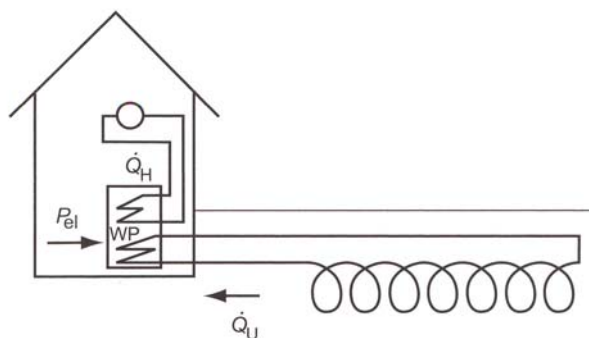


Abb. 8: Schematische Darstellung der Erdwärmennutzung durch Knüthenkollektor¹⁴

Für die Erschließung der oberflächennahen Wärme ist mit Kosten von ca. 2.500,- € bis 3.000,- € zu rechnen.

¹⁴ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 121

Tabelle 8: Vor- und Nachteile von Kollektoren

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• sind leicht zu erschließen• ganzjährig konstante Wärme steht zur Verfügung• geschlossenes System
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• zum Teil ist ein sehr großer Flächenbedarf notwendig



Abb. 9: Vertikaler Knütkollektor¹⁵



Abb. 10: Horizontaler Knütkollektor¹⁶

6.3.2 Erdsonden

Hierbei werden tiefere Erdschichten für die Wärmeerzeugung genutzt. Es kann dabei davon ausgegangen werden, dass ab einer Tiefe von 15 Metern eine konstante Wärme von 10°C zur Verfügung steht. Diese nimmt bei steigender Tiefe alle 30 m um 1 °C zu. Somit arbeitet sie effektiver, je tiefer die Erdsonde in das Erdreich eingebracht wird.

Es ist allerdings zu beachten, dass nur eine Sondentiefe von bis zu 100 Meter durch das Landratsamt genehmigt werden darf. Alle Bohrungen, die über dieser Grenze liegen bedürfen einer Beantragung beim zuständigen Bergbauamt. Des Weiteren sind Erdsonden in den Wasserschutzzonen 1 bzw. 2 grundsätzlich untersagt. Neben diesen Regelungen sind folgende

¹⁵ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 123, Foto: Calox GmbH Fürstenwalde

¹⁶ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 122, Foto: Schenker

Punkte mit zu beachten:

- das Wasserhaushaltsgesetz,
- VDI 4640 - Richtlinie für die Thermische Nutzung des Untergrundes Erdgekoppelter Wärmepumpenanlagen,
- DVGW-Arbeitsblatt W 120:2005-12 - Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau und Brunnenregenerierung.

Als Service für den Nutzer übernehmen oftmals die beauftragten Bohrfirmen, welche nach DVGW Arbeitsblatt W 120 qualifiziert sein sollten, das Genehmigungsverfahren und achten somit auf die Einhaltung der oben genannten Punkte.

Um nun eine Sonde in das Erdreich zu bringen sind Bohrmaßnahmen von Nöten. Diese haben den Vorteil gegenüber den Kollektoren, dass ihr Platzbedarf an der Erdoberfläche viel geringer ist. Denn nach vollendeter Bohrung ist das Sondenloch in der Regel nicht größer als 10 bis 15 cm im Durchmesser. In dieses Bohrloch wird nun die Sonde eingebracht. Sie besteht dabei aus einem Rohrbündel von 4 Rohren. Diese teilen sich in jeweils 2 Rohre für den Vorlauf und 2 Rohre für den Rücklauf auf. In der Mitte dieses Bündels liegt noch ein weiteres 5-tes Rohr, welches als Injektionsrohr bezeichnet wird. Es wird benötigt um, nach kompletter Einbringung der Sonde, den übrig gebliebenen Hohlraum zu verpressen. Dadurch wird eine vollständige Verbindung der Sonde mit dem Erdreich hergestellt und die Wärmeaufnahmefähigkeit verbessert. Sollten für die Versorgung mehrere Bohrungen nötig sein, wird Zusätzlich eine Verteiler- und Sammlersystem eingerichtet.

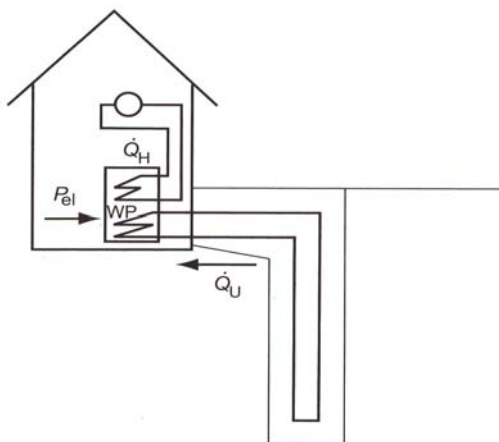


Abb. 11: Schematische Darstellung der Erdwärmenutzung durch Erdsonde¹⁷



Abb. 12: Beispiel für eine Erdsonde¹⁸

¹⁷ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 125

¹⁸ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 125, Foto: Fa. Bernd Kröckel Haustechnik

Je nach Bodenbeschaffenheit sind wiederum unterschiedliche Entzugsleistungen möglich¹⁹:

Tabelle 9: Entzugsleistungen bei Bodennutzung (Erdsonde)

Bodenbeschaffenheit	spezifische Entzugsleistung [W/m]
trockene Sedimente	30
Schiefer	55
Ton und Lehmboden (feucht)	35
Kalkstein	55
Sandstein	60
Gneis	65
Kies und Sand	20
Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit	80
Untergrund mit hohem Grundwasserfluss	100

Die Kenntnis der Bodenbeschaffenheit ist daher gehend eine wichtige Kenngröße, um eine Aussage über Dimensionierung treffen zu können. Sie sagt aus, wie viel Watt pro Bohrung dem Erdreich entzogen werden kann. Im Normalfall kann davon ausgegangen werden, dass eine Sondentiefe im Bereich von 25 bis 200 Metern vollkommen ausreichend ist.

Mit der Faustformel

$$\text{Heizleistung der Wärmepumpe (in kW)} \times 14 = \text{Sondenlänge in Metern}$$

kann die Sondenlänge überschlägig angenommen werden. Für die Erschließung kann mit Kosten von 50,- € bis 70,- € pro Sondenmeter, inklusive Bohrung, gerechnet werden.

Tabelle 10: Vor- und Nachteile der Erdsonde

Vorteile

- Ganzjährig konstant hohe Wärme
- geringer Flächenbedarf

¹⁹ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 126

- geschlossenes System
- relativ einfache Erschließung der Wärmequelle

Nachteile

- sehr hohe Investitionskosten

7 Die Technologie der Wärmepumpe gibt dem System seinen Namen

Ob eine Wasserpumpe als Wasser/Wasser, Erdreich/Sole, Luft/Wasser oder Erdreich/Direktverdampfung bezeichnet wird hängt von der Technologie, der genutzten Hauptkomponenten ab. Als Hauptkomponenten werden in der Praxis dabei die Teilkreisläufe bezeichnet, in die der bisher bekannte Wärmepumpenkreislauf aufgeteilt wird. Diese Kreisläufe definieren sich wie folgt²⁰:

- Kreislauf (1), der die Umweltwärme aufnimmt,
- Kreislauf (2), der die Wärmepotentiale erhöht,
- Kreislauf (3), der das Medium für die Heizungsanlage transportiert.

7.1 Erdreich/Sole

Bei dieser Betriebsweise bezieht sich der Name auf die genutzten Kreisläufe (1) und (2). Genutzt werden allerdings alle drei vorhandenen Kreisläufe. Dabei zirkuliert im ersten Kreislauf eine Soleflüssigkeit, angetrieben von einer Pumpe. Dabei entnimmt sie der Wärmequelle durch Kollektoren oder Tiefenbohrung die benötigte Wärmeenergie. Diese wird dann in der klassischen Wärmepumpe, Kreislauf (2), auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und dem Kreislauf (3) zur Verfügung gestellt, welcher sie nunmehr für die Beheizung des Gebäudes nutzt.

²⁰ Wärmepumpen, Tiator/Schenker, S. 127

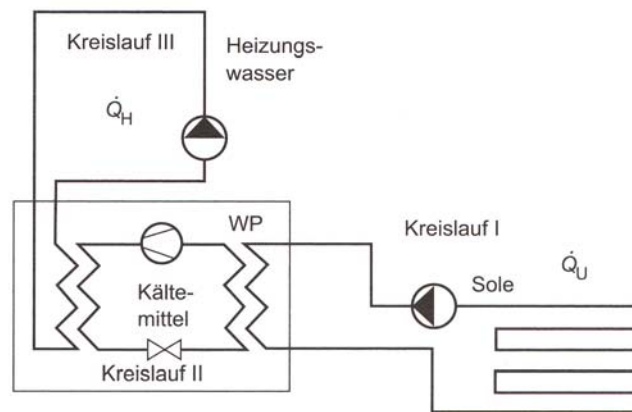


Abb. 13: Technologie der Erdreich-Sole-Wärmepumpe²¹

Tabelle 11: Vor- und Nachteile Erdreich/Sole Technologie²²:

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Die Solepumpe ermöglicht große Druckverluste, wodurch lange Rohrleitungslängen realisierbar sind, so dass große Energiemengen an Umweltwärme aufgenommen werden können. • Der Wärmepumpenkreislauf kann auf eine Kompaktanlage reduziert werden.
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Kreisläufe (viele Bauteile im System → erhöhte Materialkosten) • 2 Wärmeübertragungssysteme → erhöhte Materialkosten • bei großen Druckverlusten im Kreislauf erhöhen sich die Betriebskosten für die Solepumpe

7.2 Erdreich/Direkterwärmung

Diese Bezeichnung ergibt sich aus der Hauptnutzung des ersten Kreislaufes. Anders als bei der Erdreich/Sole Nutzung kommen hier nur 2 Kreisläufe zum Einsatz. Diese wird dadurch erreicht, in dem die Kreisläufe eins und zwei zusammengelegt werden. Somit durchströmt das Kältemittel das gesamte Rohrleitungssystem, der Wärmepumpe und der Wärmequelle. Die Wärmequelle ist ebenfalls die Kollektorfläche oder die Tiefenbohrung. Durch die Zusammenlegung muss der Verdichter zusätzlich die Zirkulationsarbeit der Pumpe mit übernehmen.

²¹ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 127

²² Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 128

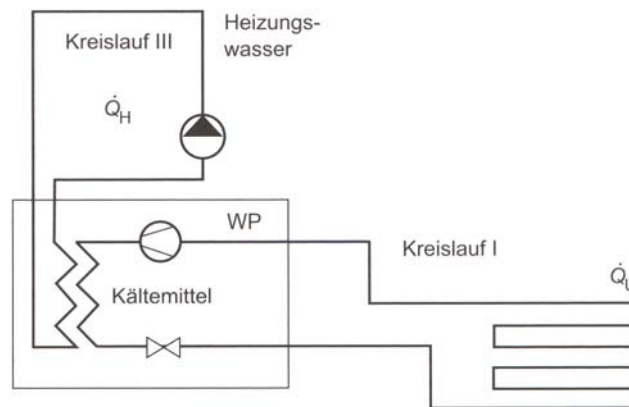


Abb. 14: Technologie der Erdreich-Direkterwärmung-Wärmepumpe²³

Tabelle 12: Vor- und Nachteile der Erdreich/Direkterwärmung Technologie²⁴:

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• Nur 1 Wärmeübertragungssystem• wenige Bauteile• kleinere Übertragungsverluste
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• Zirkulationsenergie wird durch den Verdichter bereitgestellt• das Kältemittel zirkuliert auch im Kollektorkreislauf, dadurch können Umweltgefährdungen bei Leckagen entstehen

7.3 Wasser/Wasser

In dieser Betriebstechnologie werden wiederum alle 3 Kreisläufe genutzt. Der Name ergibt sich dabei aus dem Kreislauf (1) und dem Kreislauf (3).

Durch das hohe Temperaturniveau des Grundwassers, welches bei ca. 10 °C liegt, wird nie die Gefahr des Einfrierens der Leitung bestehen. Aus diesem Grund ist es möglich, es direkt in den Wärmeübertrager von Kreislauf (2) zu leiten. Nach dem das Grundwasser seine Wärme abgegeben hat, wird es über den Schluckbrunnen an den Grundwasserkreislauf zurück geleitet. Durch diesen Sachverhalt ist es möglich die Wärmepumpe als Kompaktanlage auf zu stellen, denn der Wärmeübertrag an den Kreislauf (3) wird gleichzeitig vollzogen.

²³ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 129

²⁴ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 128

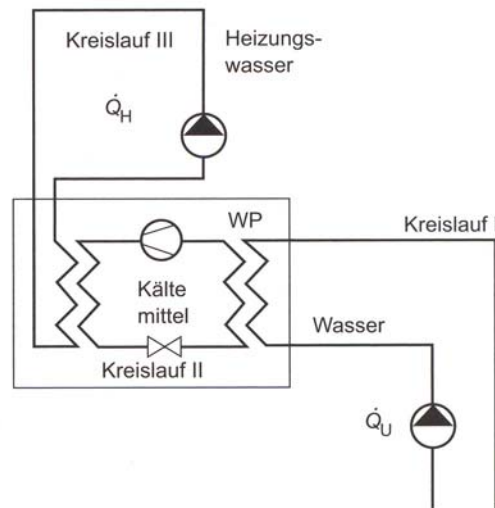


Abb. 15: Technologie der Wasser-Wasser-Wärmepumpe²⁵

Tabelle 13: Vor- und Nachteile der Wasser/Wasser Technologie²⁶:

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Die Förderpumpe, vor allem als Tauchpumpe ausgelegt, ermöglicht große Druckverluste. • Der Wärmepumpenkreislauf kann auf eine Kompaktanlage reduziert werden.
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Kreisläufe (viele Bauteile im System → erhöhte Materialkosten) • 2 Wärmeübertragssysteme → erhöhte Materialkosten. • Eine Förderpumpe für Grundwasser wird benötigt. • Bei großen Druckverlusten der Förderpumpe erhöhen sich die Betriebskosten.

7.4 Luft/Wasser

Ebenfalls, wie bei den vorangegangenen Technologien, bezieht sich der Name auf die genutzten Hauptkreisläufe. Da diesem Betrieb, die Kreisläufe (1) und (2) wiederum zusammengelegt werden, ergibt sich die Bezeichnung also aus den Kreisläufen (1) und (3).

Durch die Zusammenlegung zirkuliert das Kältemittel im gesamten Kreislauf. Um ausreichend energiereiche Luft durch den Verdampfer zu führen ist es daher sinnvoll, den Verdampfer im

²⁵ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 129

²⁶ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 130

freien aufzustellen. Aufgrund der verschiedenen Optimierungsmöglichkeiten ergeben sich demnach folgende Konfigurationsmöglichkeiten einer Luft/Wasser Wärmepumpe.

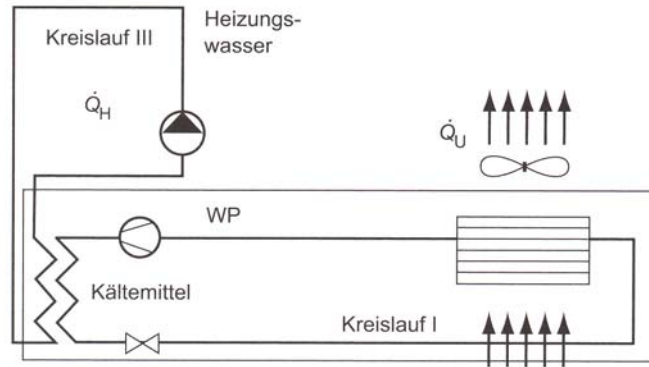


Abb. 16: Technologie der Luft-Wasser-Wärmepumpe²⁷

Tabelle 14: Anlagenkonfigurationen einer Luft/Wasser Wärmepumpe²⁸

Anlagenkonfiguration	Aufstellungsort	Bemerkung
Kompaktanlage	Im Gebäude	Erhöhter Schallschutz durch Verdichtergeräusche notwendig. Anbindung an ein Energierohr möglich.
Kompaktanlage	Außerhalb des Gebäudes	Platzersparnis im Gebäude. Erhöhte Lärmbelastigung der Umwelt durch die Verdichtergeräusche. Anbindung an ein Energierohr technisch kompliziert.
Anlage aus Einzelkomponenten	Im Gebäude, nur der Verdampfer wird im Freien aufgestellt.	Erhöhter Schallschutz durch Verdichtergeräusche notwendig. Anbindung an ein Energierohr möglich.

²⁷ Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 130

²⁸ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 131

Tabelle 15: Vor- und Nachteile der Luft/Wasser Technologie²⁹:

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">• nur 1 Wärmeübertragungssystem• wenige Bauteile im System• Kompaktbauweise ist möglich• Innen- und Außenaufstellung der Anlage ist möglich• kleine Übertragungsverluste
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">• Zirkulationsenergie wird durch den Verdichter bereitgestellt• für die Luftströmung im Verdampfer ist ein zusätzlicher Verdichter notwendig• Einfriergefahr am Verdampfer

8 Platzbedarf von Wärmepumpen

Der Platzbedarf einer Wärmepumpe im Gebäude, sowie außerhalb, ist überschaubar, denn in der Regel benötigt sie nicht mehr Grundfläche als ein handelsüblicher Kühlschrank. In Zahlen ausgedrückt bedeute es, dass nicht mehr als 1 m² bis max. 2 m² zur Verfügung gestellt werden müssen.

9 Voraussetzungen für eine gute „Grundwirtschaftlichkeit“ des Gesamtsystems

Wie aus den vorangegangenen Punkten ersichtlich ist, teilt sich die Wärmepumpenanlage in die Wärmequellenanlage, die Wärmepumpe und die Wärmenutzungsanlage auf. Diese Bestandteile sollten optimal aufeinander abgestimmt sein, damit ein einwandfreier Betrieb, sowie ganzjährig hohe Jahresarbeitszahlen gewährleistet werden können. Für die Abstimmung der Komponenten sollten demnach der Wärmebedarf der Heizungsanlage (ggf. auch Warmwasserbereitung), die notwendige Vorlauftemperatur und die Wärmequelle im Bezug zu einander betrachtet werden.

9.1 Wärmebedarf

Die Bestimmung des Heizwärmebedarfs bildet die Grundlage für die Auswahl der Wärmepumpe. Er gibt an, welchen Leistungsbereich die Wärmepumpe abdecken muss. Für eine Überschlägig

²⁹ Vgl. Tiator/Schenker, Wärmepumpen, Wärmepumpensysteme, S. 131

erst Bestimmung dieses Gesamtbedarfs können folgende Verbräuche pro Quadratmeter angenommen werden:

- Passivhaus 10 W/m²
- Niedrigenergiehaus 40 W/m²
- Neubau mit guter Wärmedämmung 50 W/m²
- Gebäude mit normaler Wärmedämmung 80 W/m²
- Bestandsimmobilie ohne besondere Wärmedämmung 120 W/m²

Für diese Überschlagsrechnung gilt weiterhin zu beachten, dass bei der Nutzung von Wärmepumpenstromtarifen der Energieversorger Sperrzeiten die Regel sind. Dies sind Zeiträume in denen die Energieversorger einen erhöhten Strombedarf decken müssen. Für die Schaffung von Netzkapazitäten schalten sie in diesen Kernzeiten die Wärmepumpenversorgung ab. Dabei gilt, dass die Sperrzeit maximal 3 mal am Tag, für die Dauer von maximal 2 Stunden aufrecht erhalten werden darf. Für die Überschlagsrechnung kann weiterhin angenommen werden, dass aufgrund der Gebäudetragheit, bedingt durch Speicherkapazitäten des Gebäudes (Fußböden/Wände), 2 Stunden dieser Sperrzeit nicht berücksichtigt werden müssen. Diese Regel gilt für alle monovalenten Betriebsweisen. Wenn die Anlage bivalent betrieben gilt, dass die Sperrzeit nicht mehr als 960 Stunden pro Jahr betragen darf.

Daraus ergibt sich, dass die Wärmepumpe dementsprechend größer zu dimensionieren ist.

Bsp.: Ein Gebäude benötigt nach der Heizlastberechnung 9000 kWh, durch die Nutzung des Wärmepumpentarifes ergibt sich folgende Rechnung:

$$9000 \text{ kWh} \times 24\text{h} : 20\text{h} = 10800 \text{ kWh}$$

Die Wärmepumpe sollte also nicht auf eine Leistung von 9000 kWh ausgelegt werden, sondern auf rund 11000 kWh.

9.2 Systemtemperatur

Dies ist für die Effizienz der Wärmepumpe entscheidend. Sie setzt sich dabei aus der Vorlauftemperatur und der Rücklauftemperatur zusammen. Hierbei ist festzuhalten, dass die Leistungszahl sich vergrößert, je niedriger die Systemtemperatur ist. Des Weiteren wird die Leistungszahl von dem Temperaturunterschied, zwischen Wärmequelle und System, beeinflusst. Je geringer dieser Unterschied ist, umso höher wird die Leistungszahl. Und steigende Leistungszahlen beeinflussen die Betriebskosten. Sie sinken je größer die Leistungszahl wird.

Die Leistungszahl ist dabei das Verhältnis von Aufwand und Nutzen. Der Aufwand spiegelt dabei die Antriebsleistung des Verdichters und der Nutzen die Heizleistung wieder. Bestimmt wird sie dabei durch den Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Temperatur des Heizmediums. Im Idealfall muss für das Heizmedium nur eine Temperatur von 35 °C erreicht werden, wie sie bei Verwendung von Flächenheizsystemen möglich ist. Als Flächenheizsysteme werden Fußbodenheizungen und Wandheizungen verstanden. Der geltende Energiestandard, welcher den Wärmebedarf je Quadratmeter vorgibt, z.B. bei Niedrigenergiehäusern unter 50 W/m², wird von modernen Anlagen problemlos erreicht und kann auch bei diesen geringen Systemtemperaturen von bis zu max. 55 °C erreicht werden.

Wer keinen Neubau errichtet, sondern eine Wärmepumpe zur Sanierung einsetzt, sollte im Vorfeld eine Sanierung der Gebäudehülle in Betracht ziehen. Denn durch diese Sanierung kann nicht nur der Jahres-Heizwärmebedarf gesenkt werden, sondern auch die Vorlauftemperatur, was zur Folge hat, dass der Einsatz von Niedertemperatur-Wärmepumpen möglich wird. Ein gute Dämmung hat weiterhin den Vorteil, dass zum Teil auf den Austausch, des Wärmeverteilsystems oder eine Vergrößerung der Heizkörperflächen verzichtet werden kann, da diese durch den gesunkenen Heizwärmebedarf eine geringe Wärmeleistung erbringen müssen.

9.3 Wärmequelle

Die Auswahl der Wärmequelle ist die wichtigste Entscheidung bei der Planung einer Wärmepumpe. grundlegend gilt, dass immer die Wärmequelle zur Versorgung herangezogen werden sollte, welche die höchste Versorgungstemperatur liefern kann.

Da diese Grundregel aber oft wirtschaftlich nicht die bestmögliche Entscheidung ist sollten folgende Punkte mit beachtet werden:

- Investitionskosten,
- Betriebskosten und
- Verfügbarkeit der Wärmequelle.

Zu den Investitionskosten zählen dabei nicht nur die Kosten für die Wärmepumpe und das Wärmeverteilsystem, sondern auch die Kosten, welche für die Erschließung der Wärmequelle notwendig sind. Aufgrund der erforderlichen Erdarbeiten, welche oft nur durch Fremdfirmen erledigt werden können sind diese für Wasser/Wasser- bzw. Sole/Wasser-Wärmepumpen höher, als für die Erschließung der Luftquelle. Diese liegen dabei in der Regel für Wasser/Wasser-

Wärmepumpen zwischen 5.500,- € und 6.000,- € je 15 m Brunnentiefe und für Sole/Wasser-Wärmepumpen, bei Erdsonden zwischen 650,- € bis 950,- € und bei Erdkollektoren zwischen 250,- € bis 300,- € je kWh Heizleistung. Für Luft/Wasser-Wärmepumpen muss man unabhängig von der Heizleistung mit Investitionskosten von 250,- € bis 500,- € für die Erschließung rechnen. Zu den Betriebskosten sei gesagt, dass diese immer in Verbindung mit der angegebenen Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe und dem Preis je kWh elektrische Antriebsenergie stehen. Sie sind daher gut planbar bzw. überschlägig ermittelbar, weil in der JAZ die Kosten für Stromzähler, sowie Pumpenverbräuche mit erfasst sind und das Objekt den zu erwartenden Heizwärmebedarf vorgibt.

Leider wird bei der Planung von Wärmepumpen oftmals die Verfügbarkeit der Wärmequelle unterschätzt. Das günstige Medium Luft steht zwar ganzjährig zur Verfügung, sein Entzugsleistung sinkt allerdings in Zeiten des erhöhten Wärmebedarfs. Aus diesem Grund ist ein monovalenter Betrieb nur mit einer starken Überdimensionierung erreichbar. Deshalb entscheidet man sich bei diesem Betrieb oftmals für die bivalent-monoenergetische Variante. Bei der Planung von Erdwärmeanlagen kann man in der Regel von einem monovalenten Betrieb ausgehen. Egal für welche Art man sich entscheidet, die Wärmequellentemperatur liegt in den meisten Fällen über 0 °C und ist somit Planungskenngröße. Ebenfalls monovalent wird die Wärmepumpe bei der Nutzung von Grundwasser genutzt. Sofern diese Wärmequelle zur Verfügung steht wird bei der Planung von einer Quelltemperatur von 10 °C ausgegangen.

9.4 Auswahl der Wärmepumpe

Für die Auswahl der Wärmepumpe sollte sich im Vorfeld weiterhin Gedanken gemacht werden, wie man sie betreiben will. Ob sie als monovalentes oder bivalentes System arbeiten soll.

Beim monovalenten Betrieb muss sie, wie erwähnt, den gesamten Wärmebedarf bei der geforderten Vorlauftemperatur decken. Zu beachten ist dabei, dass bei der Bereitstellung von Heizwärme und der Warmwasserbereitung unterschiedliche Vorlauftemperaturen bereitgestellt werden müssen.

Die Auswahl der Wärmepumpe bezieht sich dabei auf den maximal notwendigen Vorlauf und die minimale Wärmequellentemperatur. Als Grundlage dienen dabei folgende Werte:

- Vorlauftemperatur 35 °C
- Wärmequellentemperatur
- Erdreich 0 °C

Grundwasser	10 °C
Luft	2 °C

Diese Gradzahlen werden noch mit folgenden Indizes versehen:

- Wassertemperature (für den Vorlauf) wird mit einem “W“ angegeben
- Soletemperatur im Boden mit einem “B“
- Grundwassertemperatur mit “W“
- Außenlufttemperatur mit “A“

Die angegebenen Werte entsprechen den geprüften Leistungsdaten zur Angabe der Leistungszahl nach DIN EN 14511 durch die Hersteller. Dabei gilt, dass die tatsächliche Wärmeleistung der Wärmepumpe über dem notwendigen Wärmebedarf des Gebäudes liegen muss.

Somit ergibt sich bei einer Kennzeichnung B0/W35, dass es sich um einen Sole/Wasser-Wärmepumpe handelt, die auf einer Quelltemperatur von 0 °C und einem Vorlauf von 35 °C ausgelegt ist.

Bei einer bivalenten Betriebsweise hingegen ist zu ermitteln, welchen Anteil die Wärmepumpe, bei maximalem Vorlauf bzw. minimaler Quelltemperatur liefern muss. Anwendungsfeld dieser Betriebsart ist in der Regel die Luft/Wasser-Wärmepumpe. Hierbei wird die Bivalenztemperatur, auch bekannt als Bivalenzpunkt, ermittelt. Diese Grenze gibt jene Temperatur an, bei der die Wärmepumpe den Heizbedarf noch allein decken kann. Wenn diese Grenze unterschritten wird schaltet sich automatisch ein zweiter Wärmeerzeuger zu.

Der Betrieb kann nun wie folgt sein. Die Wärmepumpe arbeitet weiter mit (bivalent-parallel) oder sie wird abgeschaltet (bivalent-alternativ). Sofern es sich bei dem zweiten Wärmeerzeuger um einen elektrischen Heizstab handelt, spricht man von einer monoenergetischen Betriebsweise. Monoenergetisch deshalb, weil Wärmepumpe und Zusatzheizung die gleiche Energiequelle nutzen. Die maximale Leistungszahl dieser Zusatzheizung wird von den Energieversorgern in der Regel begrenzt.

Für die bivalente Betriebsweise ist zu empfehlen, sich für den bivalent-parallelen Betrieb zu entscheiden, da dieser im Vergleich zum bivalent-alternativen Betrieb einen höheren Deckungsanteil besitzt, was betriebskostensenkende Wirkung hat.

10 Kennzahlen

10.1 Leistungszahl

Die Leistungszahl gibt das Verhältnis von aufgenommener Energie zu abgegebener Heizleistung an. Dabei wird allerdings nicht der Energieverbrauch der Hilfsaggregate (verbaute Pumpen) berücksichtigt. Sie ist vielmehr ein Momentanwert, der auf dem Prüfstand unter Normbedingungen ermittelt wurde.

Die Leistungszahl wird umso größer, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Heizwassertemperatur und Wärmequellentemperatur ist.

Sie ist neben der Jahresarbeitszahl die wichtigste Kennzahl.

10.2 COP-Wert (Coefficient of Performance)

Der Coefficient of Performance-Wert, kurz COP-Wert, spiegelt das Verhältnis von abgegebener Heizwärme zu aufgenommener elektrischer Antriebsleistung inklusive der Hilfsenergie für die Hilfsaggregate wieder. Dies geschieht wiederum unter Prüfbedingungen. Hilfsaggregate sind dabei die Pumpen und die Abtauvorrichtung am Verdampfer.

Der COP-Wert stellt das Gütekriterium für Wärmepumpen dar.

Leistungszahl und COP-Wert dienen allerdings nicht der energetischen Bewertung einer Wärmepumpe. Sie sind nur Momentaufnahmen in definierten Betriebszuständen für die einzelnen Wärmepumpentypen.

10.3 Jahresarbeitszahl (JAZ)

Die Jahresarbeitszahl gibt das Verhältnis des Jahresertrages an geleisteter Heizarbeit (in kWh/a) zur aufgenommenen Antriebs- und Hilfsenergie (in kWh/a) an. Sie ist somit die tatsächliche Leistungszahl im Betrieb, welche sich durch Messungen am Stromzähler und am Wärmemengenzähler nach der Periode ablesen lässt.

Sie ist die wichtigste Wärmepumpenkennzahl, da sie den Wirkungsgrad der Anlage beschreibt. Sie enthält analog dem COP-Wert anteilig die Leistung der Hilfsaggregate, sprich der zum Einsatz kommenden Pumpen und Ventilatoren. Die Jahresarbeitszahl kann daher auch als Anlagennutzungsgrad verstanden werden. Dieser den Indikator für die energetische Bewertung der Gesamtanlage darstellt.

10.4 Jahresaufwandszahl (Anlagenaufwandszahl)

Die Jahresaufwandszahl gibt an, wie groß der energetische Aufwand im Verhältnis zum Nutzen einer Anlage ist. Sie ist dabei der Kehrwert der Jahresarbeitszahl.

Neben der Angabe des Verhältnisses bildet sie die Grundlage der anlagentechnischen Bewertung nach der Energieeinsparverordnung, sowie dem Nachweis des Erreichens der Mindest-Jahresarbeitszahl.

In Abbildung 17 sollen die Bilanzgrenzen der Wärmepumpenkennzahlen noch einmal veranschaulicht dargestellt werden.

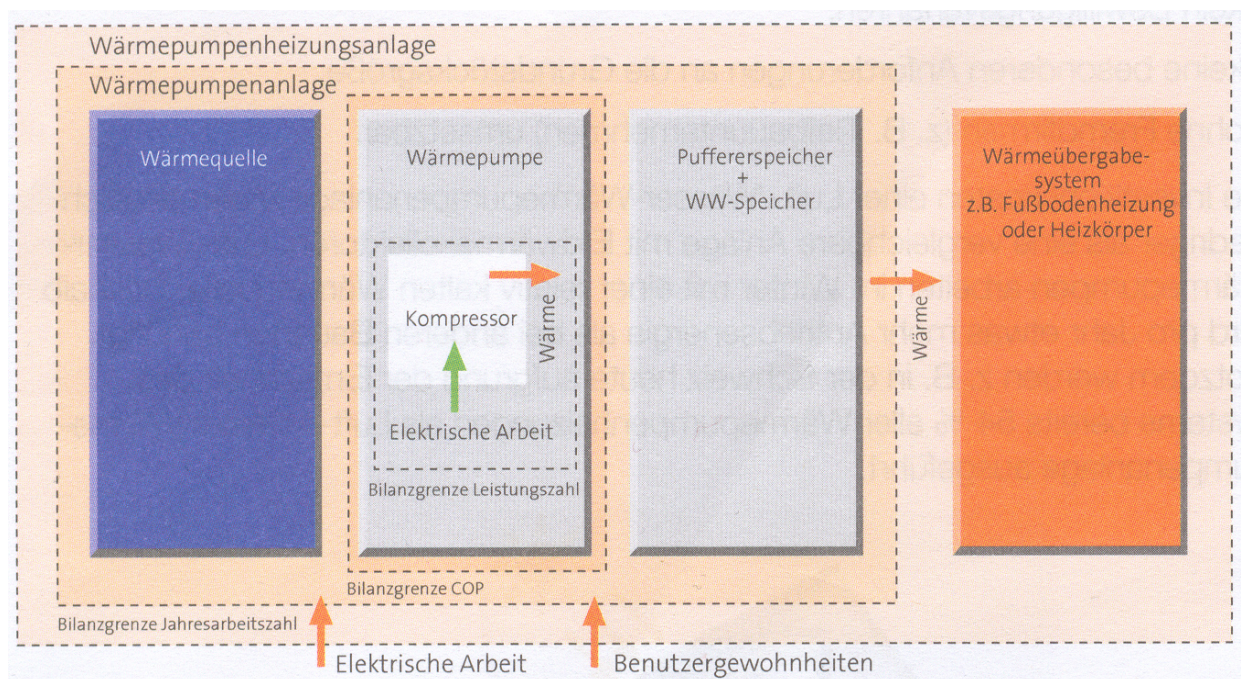


Abb. 17: Bilanzgrenzen der wichtigsten Wärmepumpenkennzahlen³⁰

11 Systemrelevante Bauteile

Dies sind die Bauteile ohne die eine Wärmepumpe nicht arbeiten kann. Für die Funktion sind der Verdichter und der bzw. die Wärmetauscher unerlässlich. Bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen kommt zu diesen Bauteilen noch der Pufferspeicher hinzu.

³⁰ Quelle: Bewag/Vattenfall; entnommen dem Informationsblatt Nr. 25 des BDH; Bilanzgrenzen der wichtigsten Wärmepumpenkennzahlen S. 3

11.1 Verdichter

Der Verdichter hat wie bereits beschrieben die Aufgabe, das Arbeitsmedium (Kühlmittel) auf ein höheres, für die Wärmeerzeugung nutzbares, Temperaturniveau zu bringen. Zum Einsatz kommt in der Regel nur noch der Scroll-Verdichter. Dieser zeichnet sich durch seine nahezu verschleißfreie Arbeitsweise, die dadurch entstehende lange Lebensdauer und seinen hohen Wirkungsgrad aus.

11.2 Wärmetauscher

Der Wärmetauscher dient der Wärmeübertragung im Wärmepumpenkreislauf. Er kommt dabei als Verdampfer und als Kondensator zum Einsatz. Er ist wie der Verdichter nahezu wartungsfrei. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise können sie sehr platzsparend verbaut werden.

11.3 Pufferspeicher

Dieser wird zur Verbesserung des Betriebsverhaltens der Anlage zwischen geschaltet. Er hat den Vorteil, dass er während des Betriebs die Schalthäufigkeiten verringert, sowie einen Lastenausgleich während der Sperrzeiten vollzieht. Dies wirkt sich positiv auf die Jahresarbeitszahl aus, welche sich dadurch vergrößert.

Beim Einsatz von Luft/Wasser-Wärmepumpen muss der Pufferspeicher eingesetzt werden, um die Zeiten der Abtauphase auszugleichen.

Um ein häufiges Takten, Anzahl der Ein-und Ausschaltvorgänge, zu vermeiden wird für Wärmepumpen eine Mindestlaufzeit von 6 bis 10 Minuten vorgeschrieben, egal ob sie mit oder ohne Pufferspeicher betrieben wird. Somit sollten maximal 3 bis 4 Starts/h nicht überschritten werden. Des Weiteren hat der Pufferspeicher in Zeiten geringer Abnahmen der Verbraucher den Vorteil, dass er den Temperaturanstieg des Rücklaufes verzögert. Der Anstieg kommt durch das „Nichtnutzen“ des bereitgestellten Vorlaufes zustande. Dieser fließt dann ungenutzt im System zurück und hebt die Rücklauftemperatur an.

Installiert wird der Pufferspeicher bei Luft/Wasser-Wärmepumpen in den Vorlauf. Bei Sole/Wasser- bzw. Wasser/Wasser-Wärmepumpen kann er sowohl in den Vorlauf als auch in den Rücklauf integriert werden.

Das Speichervolumen sollte so bemessen sein, dass die Wärmepumpe ca. 20 Minuten für seine Beladung benötigt. Unter Berücksichtigung der Sperrzeiten ist dieses Volumen allerdings nicht

ausreichende und sollte entsprechend größer geplant werden. Für die Berechnung ist es von Vorteil von der maximalen Sperrzeitdauer von 2 Stunden auszugehen. Zusammengefasst, erfüllt er folgende 4 Aufgaben:

- Überbrückung der Sperrzeiten
- Mindestlaufzeit von Wärmepumpen mit geringem Wasserumlauf wird erhöht
- Gewährleistung der Mindestlaufzeit bei Verschaltung des Pufferspeichers als Trennspeicher
- Pufferung von Wärmeenergie in Zeiten der Abtauphase des Verdampfers

12 Stand der Technik

12.1 Allgemeiner Stand der Technik

Durch konsequente Verbesserung der Wärmepumpe ist es nunmehr möglich, aus 1 kWh elektrischer Antriebsenergie bis zu 5 kWh Heizenergie zu gewinnen. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert bei der Auswahl der Wärmepumpe auf das EHPA Gütesiegel (European Quality Label for Heat Pumps, früher auch als D-A-CH – Gütesiegel bezeichnet) zu achten. Dieses ist ein Qualitätsmerkmal, dass die Angaben der Hersteller, von einem unabhängigen Prüflabor, bestätigt.

Stetige Verbesserung hilft nicht nur die Wirtschaftlichkeit immer weiter zu steigern, sondern trägt nebenbei zur Verbesserung der Öko-Bilanz bei. Denn durch eine hohe Primärenergieausbeutung wird ihr Verbrauch gesenkt, was zur Folge hat, dass auch die CO₂-Emmission gesenkt wird.

Des Weiteren kommen im Neubau nur noch Wärmepumpen zum Einsatz, die neben der Bereitstellung der Heizwärme auch die Warmwasserbereitung mit abdecken. Realisiert wird diese in der Regel, durch die Aufstellung von Kompaktanlagen, einzig bei einer innen aufgestellten Luft/Wasser-Wärmepumpe muss der Warmwasserspeicher separat aufgestellt werden.

Mit modernen Wärmepumpen ist es nunmehr auch möglich, ein Gebäude nicht nur zu beheizen, sondern auch zu kühlen. Dabei wird dem Wohnraum überschüssige Wärme entzogen und an die eigentliche Energiequelle abgegeben.

12.2 Kompressor/Verdichter

Bei den Kompressoren haben sich in den letzten Jahren verstärkt die Scrollverdichter durchgesetzt. Diese haben sich technisch ausgereift und haben durch ihr Arbeitsprinzip einen höheren Wirkungsgrad. Sie weisen eine vollhermetische Bauweise auf, welche Grundlage der langen Lebensdauer ist. Dadurch sind sie bis zu 15 Jahren Wartungsfrei. Viele Hersteller geben zu dem 10 Jahre Materialgarantie auf sie.

12.3 Kältemittel

Die Entwicklung bei den verwendeten Kältemitteln ist dahin gegangen, dass die Hersteller nur noch FCKW, sowie H-FCKW freie Kältemittel einsetzen. Des Weiteren wird darauf geachtet, dass sie ungiftig, biologisch abbaubar und nicht brennbar sind.

Die Kältemittel haben einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe, da je nach Kältemittel unterschiedlich hohe Vorlauftemperaturen erreicht werden können. Die gebräuchlichsten Kältemittel sind zur Zeit R 134A und die Stoffgemische R 407A, R 410A, R404 und R 407A.

12.4 Schallschutzmaßnahmen

Um den Schalldruck der Wärmepumpe, besser gesagt des Verdichters zu mindern haben die Hersteller eine Vielzahl von Luft- und Körperschallentkoppelnden Systemen entwickelt. Durch diese Systeme wird die Wärmepumpe weitestgehend von der Außenwelt isoliert. Bestandteile dieser schallentkoppelnden Systeme sind:

- schallisolierte Rahmenmodule,
- schwingungsgedämpfte Grundplatte und
- flexible Anschlussverrohrung.

Diese entkoppelnden Maßnahmen gewähren einen flüsterleisen Betrieb.

Neben den entkoppelnden Maßnahmen der Hersteller, kann jeder Nutzer selbst zu einer geringen Schallbelastung der Wärmepumpe beitragen, wenn er bei der Aufstellung folgende Punkte beachtet:

- Die Ausstellung sollte nicht direkt an der Gebäudewand erfolgen, sondern Platz für Installationsarbeiten, gegebenenfalls auch für Wartungsarbeiten, lassen (10-15 cm). Dies hat neben der Zugänglichkeit den Vorteil, dass durch den Betrieb auftretende Vibrationen nicht auf das Bauwerk übertragen werden.
- Weiterhin sollte beim Neubau ein eigenes Wärmepumpenfundament gegossen werden, welches wiederum eine vibrationshemmende Wirkung hat.
- Bei Altbauten oder Modernisierungen, wo sich das Anlegen eines Fundamentes schwieriger gestalten könnte, reicht es im Normalfall aus, wenn der Bereich um den Aufstellungsort der Wärmepumpe, durch eine Nutfräsung im Estrich, vom Rest des Raumes abgetrennt wird, um ebenfalls eine vibrationshemmende Wirkung zu erzielen.

12.5 Verwendung der Dampfeinspritzung

Für die Betriebsoptimierung oder Leistungssteigerung einer Wärmepumpe kann das Dampfeinspritzungsverfahren genutzt werden. Dieses wird auch als Enhanced Vapour Injektion, kurz EVI, bezeichnet.

Bei diesem Vorgang wird dem System an einer geeigneten Stelle Kühlmittel entzogen, welches dem Kompressor zur Leistungssteigerung über eine Einspritzdüse wieder zugeführt wird. Neben der Leistungssteigerung bewirkt der EVI-Prozess, dass der Energieverbrauch des Verdichters gesenkt wird und durch dieses recht einfache Prinzip die Vorlauftemperatur bis auf 65 °C angehoben werden kann (gegenüber einer Vorlauftemperatur von 40-45 °C ohne EVI-Prozess). Empfehlenswert ist der Einsatz von EVI-Einspritzung vor allem bei Luft/Wasser-Wärmepumpen.

12.6 Überwachungstechnik

Darunter ist zu Verstehen, dass die Hersteller Baugruppen entwickelt haben die den Wärme- bzw. Kältekreislauf, je nach dem wie man ihn bezeichnen möchte, überwachen. Diese werden als witterungsgeführte Energiebilanzregler bezeichnet. Dabei sammeln sie stetig die Wärmedaten der aktuellen Außentemperatur, der Vorlauftemperatur und der eingestellten Wunschtemperatur des Hauses und berechnen daraus ein mögliches Wärmedefizit. Je nach Ergebnis dieser Energiebilanzrechnung werden die Ein- bzw. Ausschaltzeiten geregelt. Zum Beispiel wird die Wärmepumpe abgeschaltet, wenn kein Wärmedefizit mehr vorhanden ist. Das hat den Vorteil, dass die Wärmepumpe wirklich nur dann angetrieben werden muss, wenn sie tatsächlich gebraucht wird.

12.7 Wärmetauscher

Im Bereich der Wärmetauscher/Wärmeübertrager haben sich Edelstahl-Plattenwärmetauscher durchgesetzt. Sie kommen beim Verdampfer und Kondensator zum Einsatz.

Der Edelstahl-Plattenwärmetauscher hat im Gegensatz zum bisherigen Rohrbündel-Wärmetauscher den Vorteil, dass er ein turbulentes Strömungsbild aufweist. Dieses verbessert den Wärmeübertrag entscheidend. Darüber hinaus weist er eine kompaktere Bauweise auf, wodurch Platz gespart werden kann.

12.8 Inspektion und Wartung

Je nach Hersteller sind, auf den Kältekreislauf bezogen, Wartungsfrei-Intervalle von 10-15 Jahren zu erwarten. Dies ist damit Begründet, dass der Kältekreislauf ein in sich geschlossenes System darstellt. Somit sind auch die Wärmeübertrager nicht weiter überprüfungsbedürftig. Des Weiteren sind Wärmepumpen vom Wartungszwang nach Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) befreit, da sie betriebsbedingt keine Immissionen verursachen. Aus diesem Grund kann auf die Errichtung eines Schornsteins verzichtet werden, somit entfallen auch diese jährlichen Wartungskosten.

Allerdings ist anzuraten die Hilfsaggregate einmal im Jahr überprüfen zu lassen, wie es für technische Anlagen sinnvoll ist. Eine Überprüfung dieser Hilfsaggregate stellt deren einwandfreien Betrieb sicher. In der Regel ist dabei nur mit Kosten für die Reinigung oder den Ersatz der verbauten Filter, sowie den Überprüfungsaufwand zu rechnen.

13 Fördermöglichkeiten für Wärmepumpen

Wärmepumpen werden derzeit von unterschiedlichen Institutionen gefördert. Dazu zählen das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), das Kreditinstitut für Wiederaufbau (KfW), die Sächsische Aufbaubank (SAB) und zum Teil auch die örtlichen Energieversorger, dies aber nur in einem sehr begrenzten Rahmen.

Die Finanzierung wird in der Regel über ein Annuitätendarlehen abgewickelt. Gründe dafür sind die Einfachheit dieser Finanzierungsform, ihre Übersichtlichkeit und ihre Akzeptanz bei allen Finanzinstituten.

Um sich über den aktuellen Stand Fördermöglichkeiten zu informieren, ist es bei der Planung ratsam, sich im Internet zu informieren. Empfehlenswerte Seiten sind dabei Internetportale, wie

www.foerderdata.de, www.energiefoerderung.info und www.foerderdatenbank.de. Diese Seiten werden stets aktualisiert und man kann sich in relativ kurzer Zeit einen Überblick darüber verschaffen, welche Fördermittel für das geplante Vorhaben möglich wären ohne sich mühsam durch die verschiedenen Seiten der Fördermittelanbieter zu "kämpfen".

Die wichtigsten Förderprogramme sind dabei das Marktanreizprogramm zur Förderung erneuerbarer Energien, Energieeffizient Sanieren – Zuschuss, Energieeffizient Sanieren – Kredit, Energetisch Sanieren, SAB-Förderergänzungsdarlehen.

Im Folgenden möchte ich kurz auf diese genannten Programme eingehen und den Inhalt dieser Programme skizzieren.

13.1 BAFA-Förderung

Die Unterstützung durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle geschieht durch das Marktanreizprogramm. Dieses Unterteilt sich in die Basisförderung, die Bonusförderung und die Innovationsförderung.

13.1.1 Basisförderung

Im Bezug auf die Neureglung der Energieeinsparverordnung, welche im Oktober 2009 in Kraft getreten ist, fördert die BAFA den Einsatz der Wärmepumpe unterschiedlich je nach dem, welches System eingesetzt wird.

Voraussetzung für die Inanspruchnahme der Basisförderung ist der Einsatz von effizienten Wärmepumpen, diese müssen dabei nicht nur die Heizwärme bereitstellen, sondern auch die Warmwasserbereitung übernehmen.

Für die Nutzung von Wasser/Wasser- bzw. Sole/Wasser-Wärmepumpen, im Neubau, kann der Nutzer mit Unterstützungen in Höhe von 10 €/m² Wohnfläche rechnen, im Maximum mit 2.000 € je Wohneinheit. Falls das Gebäude mehr als 2 Wohneinheiten besitzt liegt die Unterstützung bei maximal 10 % der nachgewiesenen Nettoinvestitionskosten. Diese Werte gelten für alle Bauanträge, welche vor dem 01.01.2009 gestellt worden sind. Für alle Bauanträge die nach dem 31.12.2008 liegen verringern sich diese um 25 %. Bei Bestandsgebäuden liegt die Unterstützung bei 20 €/m² Wohnfläche, maximal bei 3.000 €. Sind mehr als 2 Wohneinheiten im Gebäude vorhanden liegt die Unterstützung bei 15 % der Nettoinvestitionskosten.

Für die Nutzung von Luft/Wasser-Wärmepumpen im Neubau, Bauantrag vor dem 01.01.2009, liegt die Unterstützung bei 5 €/m² Wohnfläche, maximal bei 850 € je Wohneinheit. Ab 2

Wohneinheiten werden wiederum 10 % der nachgewiesenen Nettoinvestitionskosten getragen. Analog der Sole/Wasser- bzw. Wasser/Wasser-Wärmepumpe sinken diese Zuwendungen um 25 %, wenn der Bauantrag nach dem 31.12.2008 gestellt wurde. Im Bestand ändern sich diese Werte auf 10 €/m² Wohnfläche, maximal 1.500 € je Wohneinheit ab. Bei Bestandsgebäuden mit mehr als 2 Wohneinheiten bleiben die 10 % der Nettoinvestitionskosten bestehen.

13.1.2 Bonusförderungen

Die Bonusförderungen unterteilen sich hierbei wieder in 3 Einzelförderungen. Zum einen den „Regenerativen Kombinationsbonus“, dieser unterstützt die Installation einer zusätzlichen Solarkollektoranlage mit 750 €, den „Effizienzbonus“, dieser steigert die Förderbeträge um das 1,5- bzw. 2-fache der Basisförderung für Gebäude mit Bauantrag vor 1995 bzw. nach 1994, Grundlage ist die Einhaltung der Richtlinien der ENEC 2007 § 3 Abs. 2 in Verbindung mit der Anlage 1 Tabelle 1. 3 Teilförderung ist der „Umweltpumpenbonus“, hierbei handelt es sich um eine Einmalzahlung je Heizungsanlage in Höhe von 200 €, wenn eine besonders energieeffiziente Umweltpumpe zum Einsatz kommt.

13.1.3 Innovationsförderung

Bei der Innovationsförderung besteht die Möglichkeit die Fördersätze um 50 % zu erhöhen, dazu muss der Nutzer folgende Voraussetzungen erfüllen:

- im Neubau: es muss eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4,7 nachgewiesen werden
- im Bestand: es muss eine Jahresarbeitszahl von mindestens 4,5 nachgewiesen werden.

13.1.4 Generelle Voraussetzungen für die Förderfähigkeit

Um die Fördermöglichkeiten der BAFA in Anspruch nehmen zu können müssen folgende Grundvoraussetzungen erfüllt sein:

- Einbau von Strom- und Wärmemengenzählern für elektrisch angetriebene Wärmepumpen (sind Grundlage für die Bestimmung der Jahresarbeitszahl nach VDI 4650), sowie Fachunternehmererklärung in welcher der Nachweis der Jahresarbeitszahl von mindestens 4,0 bei Sole/Wasser- bzw. Wasser/Wasser-Wärmepumpen im Neubau und

mindestens 3,7 im Bestand, sowie 3,5 im Neubau und 3,3 im Bestand für Luft/Wasser-Wärmepumpen erbracht wurde.

- ein hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage muss erfolgt sein und
- eine Anpassung der Heizkurve an das gegebene Objekt muss vorgenommen worden sein.

Der Antrag auf Erhalt der Fördermittel kann dabei bis maximal 6 Monate nach Fertigstellung der Betriebsbereitschaft der Anlage gestellt werden.

Diese Fördermaßnahmen sind mit anderen öffentlichen Förderprogrammen kumulierbar, sofern die Gesamtförderung nicht das 2-fache der Fördersumme bzw. die zulässigen Beihilfeintensitäten der Europäischen Union übersteigt.

Nicht miteinander kumulierbar ist der Innovationsbonus mit dem Regenerativen Kombinationsbonus für thermische Solaranlagen.

13.2 KfW-Förderung

Die Förderungen der KfW beziehen sich ausschließlich auf die Sanierung von Gebäuden. Förderung kann der Eigentümer beantragen, dessen Baugenehmigung vor dem 01.01.1995 liegt. Dabei kann er die Förderungen „Energieeffizient Sanieren – Kredit“ und „Energieeffizient Sanieren – Zuschuss“ beantragen. Bei beiden Programmen muss das Gebäude nach der Sanierung einen vorher festgelegten KfW Standard auf Grundlage der ENEC 2009 erreichen. Dieses muss durch einen Sachverständigen bestätigt werden. In beiden Programmen wird nach der Sanierung unter der Berücksichtigung des KfW-Effizienzhaus Standards und Einzelmaßnahmen bzw. freie Einzelmaßnahmenkombination unterschieden.

Die Laufzeit für die KfW-Förderungen ist in der Regel 20 Jahre, maximal kann sie auf 30 Jahre gestreckt werden. Dabei ist mindestens das 1 Jahr bzw. maximal die ersten 3 Jahre tilgungsfrei und es werden immer die günstigsten Zinsen angesetzt. Dafür werden 2 Zeitpunkte herangezogen. Entweder der Tag der Zusage oder der Tag des Zugangs des Antrages.

Im Programm „Energieeffizient Sanieren – Kredit“ kann bei der Erreichung des KfW Standards mit einer Darlehenshöhe von 5-10 % des Zuschussbetrages gerechnet werden, abhängig vom erreichten Standard. Für den Bereich der Einzelmaßnahmen bzw. freien Einzelmaßnahmenkombination sind maximal mit 100 % der förderfähigen Investitionskosten zu rechnen.

Die Konditionen dieses Kredites sind für die Sanierung auf 75.000 € pro Wohneinheit bzw. 50.000 € bei Einzelmaßnahmen bzw. freie Einzelmaßnahmenkombination begrenzt.

Für das Programm „Energieeffizient Sanieren – Zuschuss“ gestalten sich die Zuwendungen ähnlich. Für das Sanieren auf einen KfW Standard werden förderfähige Kosten mit 10-20 % bzw. maximal 7.500 € - 15.000 € pro Wohneinheit bezuschusst. Bei den Einzelmaßnahmen bzw. freie Einzelmaßnahmenkombination liegt der Zuschuss bei 5 % der förderfähigen Kosten, max. 2.500 € pro Wohneinheit, wenn ein Mindestvolumen von 6.000 € an Investitionskosten erreicht wurde.

Für die Kumulation dieser Programme gelten folgende Regelungen:

- sie fallen weg, wenn bereits eine Förderung durch das Marktanreizprogramm vorliegt
- ebenfalls entfallen sie, wenn bereits ein KfW-Förderkredit aus dem Programm „Energieeffizient Sanieren“ abgeschlossen ist
- eine Kombination mit dem KfW-Programm „Energieeffizient Sanieren – Sonderförderung“ ist möglich
- beim „Energieeffizient Sanieren – Zuschuss“ kann auch durch Dritte gefördert, dabei ist zu beachten, dass die Summe der Förderungen nicht mehr als 10 % der Investitionskosten beträgt, da sonst der KfW-Anteil anteilig gekürzt wird.

13.3 Förderungen der SAB

Von der SAB werden derzeit 2 Förderprogramme angeboten. Energetisch Sanieren und das SAB-Förderergänzungsdarlehen.

13.3.1 Energetisch Sanieren

Wie aus dem Programmname zu erkennen ist, werden hierbei wiederum Maßnahmen an Bestandsgebäuden gefördert. Für die Erteilung der Fördermittel ist eine Bewertung durch einen Sachverständigen notwendig. In dieser Förderung sind folgende Maßnahmen enthalten:

- Verbesserung der Wärmedämmung
- Nutzung erneuerbarer Energien und
- Verbesserung der Effizienz der Energienutzung.

Die Darlehenshöhe kann dabei bis zu 90 % der förderfähigen Kosten, einschließlich der Baunebenkosten, max. 50.000 € je Wohneinheit betragen.

13.3.2 SAB-Förderergänzungsdarlehen

Auch hier ist schon aus dem Namen zu erkennen wer das Darlehen in Anspruch nehmen kann. Und zwar beschränkt sich die Vergabe auf diejenigen Eigentümer, die bereits eine Finanzierung in Anspruch genommen haben. Daraus ist auch ersichtlich, dass sie nur kombinierbar ist. Die Höhe und die Dauer dieses Zusatzdarlehens sind mit der SAB vereinbar. Grundsätzlich ist bei diesem Darlehen das 1. Jahr Tilgungsfrei und die Zinsen werden zum Zeitpunkt der Darlehenszusage günstig festgelegt.

Aufgrund noch 800 unbearbeiteter Anträge nimmt die SAB derzeit keine neuen Förderanträge mehr an. Da das Volumen dieser Anträge, zum jetzigen Zeitpunkt, die zur Verfügung stehenden Finanzmittel bereits für die nächsten 2-3 Jahre vollkommen ausschöpft.

13.4 Fördermittel der Energieversorger

Auch die Energieversorger unterstützen den Einsatz von Wärmepumpen. So gewährt z.B. die Envia eine einmalige Zahlung von 500 € pro Anlage beim Austausch einer alten Anlage gegen eine Wärmepumpe. Gewährt wird diese Zahlung allerdings nur den 350 schnellsten Antragstellern, des Weiteren müssen sich diese über einen 5 Jahresvertrag über die Abnahme von Wärmepumpenstrom an die Envia binden.

14 Kostenvergleich und Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Wärmepumpen gibt es eine Vielzahl und jede kommt zu einem anderen Ergebnis. Zum einen wären da reine Berechnungsverfahren, welche sich nur auf den Heizkostenvergleich von Wärmepumpen zu anderen fossilen Wärmeerzeugern beziehen und zum anderen eine reine Betrachtung nach der DIN VDI Richtlinie.

Prinzipiell ist die Wärmepumpe ein sehr sensibler Ausrüstungsgegenstand und sehr planungsaufwendig. Jeder Fehler innerhalb der Planung kann die möglichen Einsparungen zu Nichte machen. Zum Beispiel können für zwei identische Gebäude unterschiedliche Ergebnisse auftreten, wenn sich die Bodenbeschaffenheit unterscheidet (Sole/Wasser-Wärmepumpe).

Dadurch können Unterschiede in der Sondenlänge auftreten, welche eine Steigerung der Investitionskosten zur Folge hat. Somit ist schon an diesem kleinen Unterschied zu erkennen, dass eine Wärmepumpe immer gebäudespezifisch zu planen ist, um eine reale Aussage darüber

treffen zu können, welche Kosten sie tatsächlich verursacht und welche tatsächlichen Betriebskosten entstehen können. Um Fehlplanungen im Vorfeld auszuschließen bieten sich, wie bereits beschrieben und angemerkt, Überschlagsrechnungen an oder für genauere Planungen und bei Kenntnis der wichtigsten Kerndaten, die Nutzung von Optimierungstools. So ein Tool ist z.B. auf www.wp-opt.de zu finden. Eine Demoversion ist für jeden frei verfügbar.

In meinem Beispielvergleich orientiere ich mich an dem DIN/VDI-Verfahren und ziehe meine Werte für die Wärmepumpen, sowie Erschließung aus einer Studie des Institutes für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IRE) und die Werte der Jahresarbeitszahlen entnehme ich dem Feldtest der lokalen Agenda-Gruppe 21 Umwelt/Energie, welche im Zeitraum 2006 bis 2008 gemessen wurden und setze voraus, dass sie die Mindestjahresarbeitszahlen lt. Fördermittelrichtlinie erreichen.

Das Grundgebäude stellt einen Neubau in Niedrigenergiebauweise mit 150 m² beheizter Fläche dar und das Wärmeverteilsystem ist eine Fußbodenheizung, da diese in einem Neubau mit Niedrigenergiebauweise zum Einsatz kommen sollte. Weiterhin hat das Gebäude einen Heizwärmebedarf von 9.000 kWh. Die Lebensdauer setze ich mit 20 Jahren an und finanziere die Wärmepumpen über ein Annuitätendarlehen. Des Weiteren gehe ich für die Förderung davon aus, dass die Wärmepumpen die Mindestjahresarbeitszahlen laut Fördermittelrichtlinie erreichen. Für die Finanzierung der Investition wird ein normaler Kredit genutzt. Der effektive Zins derartiger Kredite liegt derzeit im Bereich von 5,89 % und 8,90 % (Stand: Januar 2010). Die Kreditlaufzeit ist dabei auf maximal 72 Monate (6 Jahre), teilweise bis 84 Monate (7 Jahre), beschränkt. Das Kreditvolumen ist jeweils die Summe der entstehenden Kosten der Wärmepumpen.

Ich lege einen Kredit mit 72 Monaten Laufzeit und einem Zinssatz von 6,75 % zugrunde. Möglichkeiten einer Sondertilgung werden nicht berücksichtigt.

Des Weiteren wird ein Wärmepumpentarif der Envia genutzt. Die Konditionen für diesen Tarif sind 16,66 Ct/kWh und ein Grundpreis von 5,64 €/Monat ist zu zahlen. Diese sind bei meinem Vergleich Konstanten über den gesamten Zeitraum der Nutzung.

Die Wärmepumpen besitzen alle eine Heizleistung von 5kW und sind auf eine Leistung von 11.000 kWh/Jahr ausgelegt. Diese Überdimensionierung ergibt sich aus dem geforderten Heizwärmebedarf und der Nutzung des Wärmepumpentarifes, welcher Stillstandzeiten voraussetzt und welche zu berücksichtigen sind.

Tabelle 16: Kostenvergleich der Wärmepumpen

	Einheit	Wärmepumpe, monovalent			Wärmepumpe, monoenergetisch		
		Wasser/ Wasser	Sole/Wasser		Luft/ Wasser	Besonder- heiten	
			Kollektor	Erdsonde			
Energieerzeugung	kWh/ Jahr	11.000	11.000		11.000		
Kapitalgebundene Kosten							
Wärmepumpe mit Kollektor, Anschluss und Warmwasserbereitung	€	-	11.500	-	-		
Wärmepumpe mit Anschluss und Warmwasserbereitung	€	10.000	-	8.200	9.300		
Erdarbeiten	€	-	2.500	-	-		
Sonde und Bohrung	€	-	-	7.300	-		
Bau Brunnenanlage	€	5.000	-	-	-		
Fundament, Luftkanäle und Zubehör	€	-	-	-	1.900		
Brauchwasserspeicher	€	1.000	1.000	1.000	1.000		
Pufferspeicher	€	-	-	-	1.400		inkl. Heizstab
Elektroinstallation	€	600	600	600	600		
Hausinterne Verteilung	€	6.100	6.100	6.100	6.100		
Förderung (BAFA)	€	-1.500	-1.500	-1.500	-637,50		
Summe Investition Energieerzeuger	€	21.200	20.200	21.700	19.662,50		
Zinsen	%	6,75	6,75	6,75	6,75		
Laufzeit	Jahre	6	6	6	6		
Annuität	%/Jahr	20,82	20,82	20,82	20,82		
Jahreskapitalkosten	€/Jahr	4.413,40	4.205,22	4.517,49	4.093,33		
Monatskapitalkosten	€/Monat	367,78	350,44	376,46	341,11		
Kapitalkosten 6 Jahre	€	26.480,41	25.231,34	27.104,95	24.559,96		
Verbrauchsgebundene Kosten							
Jahresnutzungsgrad		4,0	4,0		3,5		
Brennstoffbedarf pro Jahr	kWh	2.750	2.750		3.111	Anteil Wärmepumpe 99 %	
					31	Anteil Heizstab 1 %	
Arbeistpreis (inkl. MwSt.)	ct/kWh	16,66	16,66		16,66		
	€/Jahr	458,15	458,15		523,60		

Grundpreis (inkl. MwSt.)	€/Monat	5,64	5,64	5,64	
	€/Jahr	67,68	67,68	67,68	
Jahreskosten	€	525,83	525,83	591,28	
Spezifische Jahreskosten	€/kWh	0,048	0,048	0,054	
Betriebsgebundene Kosten					
Instandhaltung/ Wartung	€/Jahr	50	50	50	50
Jahresbetriebskosten	€/Jahr	50	50	50	50
Gesamtkosten					
Jahresgesamtkosten (für die ersten 6 Jahre)	€/Jahr	4.989,23	4.781,05	5.093,32	4.734,61
Jahresgesamtkosten (ab dem 7. Jahr)	€/Jahr	575,83	575,83	575,83	641,28
Kosten pro kWh Gebäudeheizlast (für die ersten 6 Jahre pro Jahr)	€/kWh	0,454	0,435	0,463	0,430
Gesamtkosten über 20 Jahre	€	37.997,01	36.747,94	38.621,55	37.385,56

Die Kosten für die Wärmepumpen liegen in meinem Beispiel im Bereich von rund 19.700 € bis 21.100 € und nach identischer Finanzierung über 6 Jahre zwischen 24.600 € bzw. 27.100 €.

Somit steigt der Kostenunterschied vom teuersten zum günstigsten Wärmeerzeuger von rund 2.000 € auf 2.500 €. Die Gründe hierfür liegen in den unterschiedlichen Kreditvolumina, welche den Gesamtkosten der Wärmepumpe entsprechen (Anschaffungskosten, Erschließung, etc.).

Die verbrauchsgebundenen Kosten sind für Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Systeme identisch. Dies ist damit begründet, dass beide Systeme die gleichen Grundvoraussetzungen haben (gleiche JAZ, gleiche Leistung). Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass man nur einen Unterschied im Bezug auf die Luft/Wasser-Wärmepumpe feststellen kann, da ihre JAZ erstens geringer ist und sie dadurch einen höheren Primärenergiebedarf benötigt.

Auf Basis der angesetzten Werte verursachen die Wasser/Wasser- und die Sole/Wasser-Wärmepumpen Jahreskosten von rund 526 € und die Luft/Wasser-Wärmepumpe rund 591 €. Somit zeigt sich schon an dieser Stelle, dass der günstigste Wärmeerzeuger pro Jahr dadurch ca. 70 € Mehrbetriebskosten verursacht.

Die betriebsgebundenen Kosten sind für alle Wärmepumpen gleich. Dies hat den Hintergrund, dass Wärmepumpensysteme fast nicht überprüfungsbedürftig sind (Grundlage ist, dass sie als geschlossenes System gelten und eine lange Lebensdauer der Baugruppen, speziell der Verdichter garantiert wird). Daher beziehen sich diese Kosten auf die Hilfsaggregate (Pumpen) und die Überprüfung der Soleflüssigkeit.

Die Gesamtkosten stellen sich wie folgt dar. Durch die Finanzierung ergeben sich in den ersten 6 Jahren Gesamtkosten runde 4.730 € bis 5.100 € pro Jahr. Dabei ist festzustellen, dass die Sole/Wasser-Wärmepumpe (Kollektor) nur unwesentlich mehr Kosten verursacht als die Luft/Wasser-Wärmepumpe. Ab dem 7. Jahr fallen für alle Systeme nur noch die verbrauchsgebunden Kosten und die betriebsgebunden Kosten an. Somit ergeben sich Gesamtkosten für den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren, wie in der Tabelle 16 angegeben.

Auf den 1. Blick fällt auf, dass die Sole/Wasser-Wärmepumpe ihren Anschaffungskostennachteil, welcher ca. bei 800 € lag, innerhalb der Nutzungsdauer, gegenüber der Luft/Wasser-Wärmepumpe, komplett kompensiert und sogar einen Kostenvorteil für sich herausarbeiten konnte. Auch die Wasser/Wasser-Wärmepumpe konnte innerhalb dieses Zeitraumes kräftig aufholen und liegt nach 20 Jahren nur noch rund 600 € hinter der Luft/Wasser-Wärmepumpe zurück, statt wie zu Beginn 1.600 €. Abgeschlagen ist die Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde), sie ist nach der Nutzungsdauer immer noch das teuerste System.

Am Wirtschaftlichsten arbeitet somit die Sole/Wasser-Wärmepumpe und ist somit „Sieger“ in diesem Vergleich, vor der Luft/Wasser-Wärmepumpe, der Wasser/Wasser-Wärmepumpe und der Sole/Wasser-Wärmepumpe (Erdsonde).

Bemerkung:

An dieser Stelle möchte ich nochmals darauf hinweisen, dass dieser Vergleich auf Durchschnittswerten, im Bezug auf Anschaffungskosten und JAZ, beruht und zur besseren Betrachtung die Wärmepumpen über das gleiche Leistungsniveau verfügen.

Für die Praxis bedeutet dies, dass bei Änderung der Randbedingungen, z.B. durch unterschiedliche JAZ, unterschiedliche Leistungsniveaus der Wärmepumpen oder kostengünstigere bzw. teurere Erschließung, das Ergebnis durchaus anders ausfallen kann. Zur Verdeutlichung soll die Tabelle 17 dienen, in welcher die rot unterlegten Eckdaten geändert wurden.

Das Ergebnis zeigt, dass sich das Wasser/Wasser-System und die Sole/Wasser-Systeme im Rahmen der Nutzungsdauer an der Luft/Wasser-Wärmepumpe vorbei arbeiten und sie nach den 20 Jahren die größten Kosten verursacht.

Tabelle 17: Beispiel eines Kostenvergleich mit nicht standardisierten Werten bezogen auf das Grundobjekt

	Einheit	Wärmepumpe, monovalent			Wärmepumpe, monoenergetisch	
		Wasser/ Wasser	Sole/Wasser		Luft/ Wasser	Besonder- heiten
			Kollektor	Erdsonde		
Energieerzeugung	kWh/Jahr	11.600	10.400		10.200	
Kapitalgebundene Kosten						
Wärmepumpe mit Kollektor, Anschluss und Warmwasserbereitung	€	-	10.873	-	-	
Wärmepumpe mit Anschluss und Warmwasserbereitung	€	9.423	-	9.909	9.449	
Erdarbeiten	€	-	3.000	-	-	
Sonde und Bohrung	€	-	-	4.500	-	
Bau Brunnenanlage	€	5.500	-	-	-	
Fundament, Luftkanäle und Zubehör	€	-	-	-	1.900	
Brauchwasserspeicher	€	1.000	1.000	1.000	1.000	inkl. Heizstab
Pufferspeicher	€	-	-	-	1.400	
Elektroinstallation	€	600	600	600	600	
Hausinterne Verteilung	€	6.100	6.100	6.100	6.100	
Förderung (BAFA)	€	-1.500	-1.500	-1.500	-637,50	
Summe Investition Energieerzeuger	€	21.123	20.073	20.609	19.811,50	
Zinsen	%	6,75	6,75	6,75	6,75	
Laufzeit	Jahre	6	6	6	6	
Annuität	%/Jahr	20,82	20,82	20,82	20,82	
Jahreskapitalkosten	€/Jahr	4.397,37	4.178,78	4.290,37	4.124,35	
Monatskapitalkosten	€/Monat	366,45	348,23	357,53	343,70	
Kapitalkosten 6 Jahre	€	26.384,23	25.072,70	25.742,21	24.746,07	
Verbrauchsgebundene Kosten						
Jahresnutzungs-grad		5,5	4,3		3,4	
Brennstoffbedarf pro Jahr	kWh	2.109	2.419		2.970	Anteil Wärmepumpe 99 %
					30	Anteil Heizstab 1 %

Arbeitspreis (inkl. MwSt.)	ct/kWh	16,66	16,66		16,66	
	€/Jahr	351,37	402,94		499,80	
Grundpreis (inkl. MwSt.)	€/Monat	5,64	5,64		5,64	
	€/Jahr	67,68	67,68		67,68	
Jahreskosten	€	419,05	470,62		567,48	
Spezifische Jahreskosten	€/kWh	0,036	0,045		0,056	
Betriebsgebundene Kosten						
Instandhaltung/Wartung	€/Jahr	50	50	50	50	
Jahresbetriebskosten	€Jahr	50	50	50	50	
Gesamtkosten						
Jahresgesamtkosten (für die ersten 6 Jahre)	€/Jahr	4.866,43	4.699,40	4.810,99	4.741,83	
Jahresgesamtkosten (ab dem 7. Jahr)	€/Jahr	469,05	520,62	520,62	617,48	
Kosten pro kWh Gebäudeheizlast (für die ersten 6 Jahre pro Jahr)	€/kWh	0,420	0,452	0,463	0,465	
Gesamtkosten über 20 Jahre	€	35.765,32	35.485,09	36.154,60	37.095,67	

Nach Betrachtung beider Tabellen, kann man abschließend feststellen, dass die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen immer im Bezug auf ihr Leistungsvermögen (JAZ), den zu erwartenden Kosten der Anschaffung und Erschließung und dem Leistungsniveau zu betrachten ist.

15 Zukunft der Wärmepumpe und Fazit

15.1 Zukunft der Wärmepumpe

Im Oktober 2009 auf dem 7. Forum des Bundesverbandes Wärmepumpen e.V. wurde der Stand der Wärmepumpe am Heizungsmarkt für das Jahr 2008 aufgearbeitet und zu Gleich ein Ausblick bis 2030 formuliert.

Für das Jahr 2008 ergab sich aus der Studie, dass die Wärmepumpe bereits einen Anteil von rund 10 % Heizungsmarkt besitzt. Bezogen auf den Bereich der Renovierung lag dieser Anteil bei 7 % am Gesamtabsatz der Wärmeerzeuger.

Der Anteil der Wärmepumpensysteme gestaltete sich dabei wie folgt:

Anteile verschiedener Heizungswärmepumpen am Wärmepumpenmarkt 2008 in Prozent

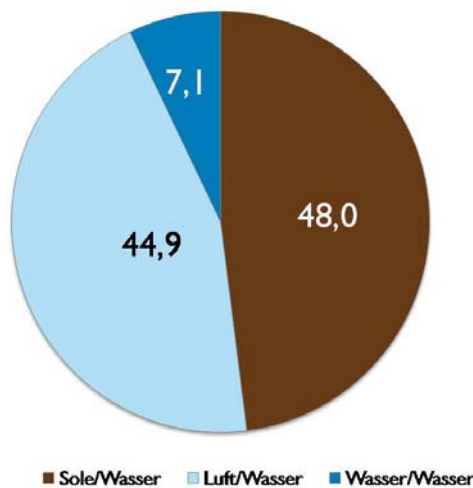


Abb. 18: Verteilung der Wärmepumpe am Heizungsmarkt für 2008³¹

Wie aus der Grafik hervorgeht, hat der beste Wärmelieferant, die Wasser/Wasser-Wärmepumpe, nur einen Anteil von 7,1 %. Dies liegt zum einen an den hohen Investitionskosten und zum anderen an den hohen Anforderungen, welche die Wärmequelle erfüllen muss. Sie ist demnach nicht bei jedem Grundstück geeignet. Den Rest, des Anteils am Gesamtmarkt, teilen sich die Sole/Wasser- und Luft/Wasser-Wärmepumpe fast hälftig. Die Gründe sind dabei vielfältig. Es könnte am vermehrten Austausch älterer Anlagen durch die Luft/Wasser-Wärmepumpe liegen, da diese bekanntermaßen leicht nachzurüsten ist oder sich beim Neubau direkt für den zweitbesten Wärmeerzeuger nach der Wasser/Wasser-Wärmepumpe entschieden wird.

³¹ Quelle: Bundesverband Wärmepumpen e.V.

Die Prognose des BWP e.V. sieht vor, dass die Wärmepumpe bis 2030 einen Anteil von etwa 33 % besitzen wird. Diese Prognose stützt sich dabei auf die Gebiete Absatz, Marktdurchdringung und den zu erwartenden technischen Fortschritt bis 2030. Ebenfalls wird in der Prognose berücksichtigt, wie sich der Bestand der Wärmepumpe ändert, wenn diese für den Austausch eines älteren Heizungssystems eingesetzt wird. Grundlage dieser Prognose war es, das Potential der Wärmepumpe für eine nachhaltige Wärmeversorgung auszuloten. Hierfür wurden 2 Szenarien formuliert:

Entwicklung bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen

Entwicklung bei deutlicher Optimierung der Rahmenbedingungen (Modernisierungstau im Altbau löst sich auf; Förderungen für erneuerbare Energien im Wärmebereich wird stärker ausgebaut)

In beiden Szenarien wird ab 2010 von einem stetig steigenden Absatz ausgegangen. Unterschiedlich fällt diese Bewertung aus, da eine Veränderung der politischen Gegebenheiten berücksichtigt wird.

Für das 1. Szenario, in dem davon ausgegangen wird, dass sich die politischen Rahmenbedingungen nicht verändern, kommt man in der Studie zu dem Ergebnis, dass mit einem Zuwachs von rund 120.000 Einheiten bis zum Jahr 2030 zu rechnen ist. Dies würde einen 90 %igen Zuwachs nach heutigem Stand entsprechen.

Geht man, wie im 2. Szenario zu Grunde gelegt, davon aus, dass sich diese Bedingungen verbessern, würden die zu erwartenden Steigerungen noch größer ausfallen. In Zahlen ausgedrückt wären dies rund 311.000 Einheiten bzw. eine Steigerung von 390 %. Das hätte zur Folge, dass sich der Anteil der Wärmepumpe am Heizungsmarkt im Jahr 2030 auf über 36 % anhebt. Neben dem Gesamtanteil würde sich gleichbedeutend der Anteil im Bereich der Modernisierung und Sanierung auf 31 % steigern.

15.2 Fazit

Auch wenn es derzeit noch eine Gewissensentscheidung ist, sich für die Mehrkosten in der Wärmeerzeugung zu entscheiden, sehe ich in der Wärmepumpe eine echte Alternative zu den bisherigen Wärmeerzeugern. Denn durch die immer schärferen gesetzlichen Regelungen wird man als Bauherr und auch als Bestandsbesitzer gezwungen Energie und somit auch CO₂ einzusparen. Über diese gesetzlichen Regelungen hinaus, sollte in meinen Augen nicht vergessen

werden, dass die fossilen Brennstoffe irgendwann aufgebraucht sind und durch immer größer werdende Verknappung, Preissteigerungen die Folge sind, welche die Wärmepumpe sich zum Vorteile, in Bezug auf die Betriebskosten zu nutzen machen kann.

Sicherlich gibt es viele, auch günstigere Wege diese Einsparungen vorzunehmen. Allerdings bin ich der Ansicht, dass der Einsparung, wie z.B. durch eine bessere Wärmedämmung Grenzen gesetzt sind und nach Alternativen bzw. Kombinationsmöglichkeiten gesucht werden muss.

Grundvoraussetzung für eine gute Effizienz der Wärmepumpe ist ein niedriger Grundverbrauch des Gebäudes und gerade deshalb sehe ich sie bei der Errichtung oder Modernisierung auf einen Energiestandard als optimales Heizungssystem.

Daher ist es wichtig einer Effizienzverschlechterung durch Fehlplanung vorzubeugen und es empfiehlt sich, eine solche Anlage aus einer Hand planen zu lassen und sich für die Teilbereiche nicht auf Einzelplanung zu verlassen.

Darüber hinaus sehe ich auch die Industrie in der Pflicht. Denn bisher gibt es keinen Berufszweig, welcher sich ausschließlich mit der Installation von Wärmepumpen beschäftigt. Daher wäre es empfehlenswert, wenn sich in den nächsten Jahren, unter Berücksichtigung steigender Absatzzahlen, in diesem Bereich Entwicklungen aufzeigen würden. Dadurch könnten Effizienzverschlechterungen durch fehlerhafte bzw. mangelhafte Installation verringert, wenn nicht sogar ausgeschlossen werden.

Bei der Wahl des Wärmepumpenherstellers würde ich auf namenhafte Hersteller wie Buderus, Dimplex, Alpha-Inno Tec, Siemens-Navalem, Vaillant, Stiebel-Eltron und Viessmann, zurückgreifen, um nur einige zu nennen. Diese Unternehmen blicken zum Teil auf eine 30 jährige Erfahrung im Bereich der Wärmepumpe zurück und waren bzw. sind Teilnehmer des Feldtests des Fraunhofer Institutes.

Vorteil der Wärmepumpe:

- Einsparung von Betriebskosten, bis annähernd zur Hälfte eines Alternativsystems möglich
- Einsparung von Wartungs- und Überprüfungskosten
- Einsparung der Kosten für die Errichtung von Schornstein und Bevorratung
- geringer Platzbedarf, innen wie außen
- Senkung des CO₂-Ausstoßes

Nachteil der Wärmepumpe:

- im Vergleich zu einem Alternativsystem 2 bis 3 mal höhere Anschaffungskosten
- sie ist sehr planungsintensiv
- real erreichbare JAZ reagiert schon auf kleinste Veränderung der Rahmenbedingungen
- Fehlplanung beeinflusst die mögliche JAZ negativ

Anhang

Bilder zur Veranschaulichung der Aufstellungsmöglichkeiten/Installation von Wärmepumpen im Gebäude und des Verdampfers von Luft-Wärmepumpen im Außenbereich.



Abb. 19: Luft/Wasser-Wärmepumpe, Foto: Siemens



Abb. 20: Sole/Wasser-Wärmepumpe, Foto: Siemens



Abb. 21: Sole/Wasser-Wärmepumpe, Foto: Buderus



Abb. 22: Wasser/Wasser-Wärmepumpe, Foto: Buderus



Abb. 23: Luft/Wasser-Wärmepumpe, Foto: Buderus



Abb. 24: Sole/Wasser-Wärmepumpe, Foto: Viessmann



Abb. 25: Verdampfer, Wandaufstellung, Foto: Buderus



Abb. 26: Verdampfer, Wandaufstellung, Foto: Dimplex

Abweichungen von der Prognostizierten JAZ können verschiedene Gründe haben. Zur Veranschaulichung der möglichen Veränderungen sollen folgende Grafiken dienen.

Abweichung von der Prognose	Beschreibung	Jahres-arbeits-zahl	Stromverbrauch (für Kompressor, Sole-umwälzpumpe bzw. Ventilator, Regelung, Heizstäbe, Abtauen) in kWh/a
Prognose	• Ergebnis mit Simulationssoftware WP-OPT	4,21	3129
nutzerbedingt:	• doppelter Trinkwarmwasserbedarf	4,10	3802
	• Trinkwarmwasser mit 60 °C, ab 49 °C wird elektrisch nachgeheizt	3,54	3939
	• höhere Heizlast wegen häufig gekippter Fenster (damit werden höhere Heizwassertemperaturen benötigt und eine größere Wärmemenge muss erzeugt werden)	3,95	4122
	• Raumlufttemperatur 23 °C statt 20 °C (höhere Vorlauf-temperaturen, stärkere Auskühlung der Quelle durch höheren Wärmeentzug)	3,93	4710
	• das halbe Gebäude wird nicht beheizt, dadurch geht die Warmwasserbereitung stärker ein; da Nachbarräume kälter sind, muss die Vorlauftemperatur angehoben werden, wegen der geringeren Wärmemenge ist die Quelle wärmer	4,15	1969
konzeptbedingt:	• Fußbodenheizung mit Teppich statt mit Fliesen, dadurch um 8 Grad höhere Vorlauftemperatur nötig	3,96	3326
	• Heizung wird wie früher mit hohen Temperaturen von 55 °C betrieben	3,55	3714
	• Pufferspeicher dient Warmwasser und Heizung und wird ständig auf 55 °C geheizt, Fußbodenheizung wird mit Mischer betrieben	2,5	5270
	• besonders große Solepumpe (600 W statt 250 W)	3,64	3622
	• schlechtes Konzept zur Trinkwassererwärmung (Nacherhitzung immer mit hoher Temperatur)	3,89	3392
	• monoenergetischer Betrieb durch Unterdimensionierung; monoenergetisch parallel ab -2 °C	3,53	3536
	• Luft-Wasser-Wärmepumpe monovalent (Heizleistung 12,8 kW, Leistungszahl 3,41)	3,87	3673
	• Luft-Wasser-Wärmepumpe monoenergetisch-parallel ab -2 °C (Heizleistung 5,4 kW, Leistungszahl 3,18)	3,35	4331
	• starke Wärmebrücken oder Austrocknungsmehrbedarf, 15 % bezogen auf den Heizwärmebedarf	4,16	3730
Abweichung von der Prognose	Beschreibung	Jahres-arbeits-zahl	Stromverbrauch (für Kompressor, Sole-umwälzpumpe bzw. Ventilator, Regelung, Heizstäbe, Abtauen) in kWh/a
bedingt durch die Gebäudehülle:	• „36-Wände mit Eder-Ziegeln“ Wärmeleitfähigkeit von 0,09 W/(mK) in der Baubeschreibung U-Wert 0,23 W/(m²K); verbaut wurde aber 0,16 W/(mK), dadurch erhöht sich der U-Wert auf 0,39 W/(m²K): höhere Vorlauftemperaturen und stärkere Auskühlung der Quelle durch stärkeren Wärmeentzug	4,14	3744

Abb. 27: Möglichkeiten der Abweichung für die prognostizierte/zu erwartende Jahresarbeitszahl³²

³² Abweichungen von Prognose; Dipl.-Phys. Christiana Hönig, Wärmepumpenspezialistin und Software-Entwicklerin bei WPsoft GbR, Dresden

Literaturverzeichnis

Bücher

Compact Verlag: Der Bauherr Spezial – Hausbau leicht gemacht – Die neuen Heizsysteme; Compact Verlag München 2007; ISBN 978-3-8174-2078-0

Dr. Naumann, Wolfgang: Ratgeber Immobilien – Energiesparend bauen und modernisieren 2008; Rudolf Haufe Verlag GmbH & Co. KG; ISBN 978-3-448-08599-0

Hoffmann, Reinhard: Heizen mit der Wärmepumpe – Leicht gemacht, Geld und Ärger gespart!; Franzis Verlag GmbH, Poing 2009; ISBN 978-3-7723-4228-8

Muhmann, Christian: Effiziente Energieversorgung nach EnEV – Technische Möglichkeiten im Alt- und Neubau; 1. Auflage 2007; C.F. Müller Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg; ISBN 978-3-7880-7805-8

Ochsner, Karl: Wärmepumpen in der Heizungstechnik – Praxishandbuch für Installateure und Planer. 5. Auflage 2009; C.F. Müller Verlag, Marke der Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg; ISBN 978-3-7880-7845-4

Reichelt, Johannes (Hrsg.): Wärmepumpen – Stand der Technik; C.F. Müller Verlag 2008, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, Heidelberg, München, Landsberg, Berlin; ISBN 978-3-7880-7843-0

Tiator, Ingolf und Schenker, Maik: Wärmepumpen, Wärmepumpenanlagen; Vogel Buchverlag; Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG, Würzburg; 1. Auflage 2007; ISBN 978-3-8343-3059-8

Zeitschriften

Bauen und Renovieren; Ausgabe: 7/8 2009; Fachschriften-Verlag GmbH & Co. KG, Feldbach

Effizienz Häuser; Ausgabe: SH 01/2009; Fachschriften Verlag GmbH & Co. KG, Feldbach

Fertighaus aktuell; Ausgabe: 04/2009; Compact Publishing GmbH; München

Stiftung Warentest; Ausgabe: Nr. 6 Juni 2007; Stiftung Warentest; Berlin

Internetseiten

Effiziento Haustechnik GmbH; info@effiziento.de; Wärmepumpe - die ökologische Alternative. URL: <<http://www.effiziento.de/waermepumpen.html>>, verfügbar am 21.12.2009

Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e. V.; info@waermepumpe.de; Die Wärmepumpe. URL: <<http://www.waermepumpen.de/endverbraucher/die-waermepumpe.html>>, verfügbar am 18.12.2009

EnergieAgentur.NRW; waermepumpe@energieagentur.nrw.de; Wärmepumpen-Marktplatz NRW. URL: <<http://www.energieagentur.nrw.de/waermepumpen/page.asp?RubrikID=6024>>, verfügbar am 19.11.2009

Thoben, Christa; waermepumpen@energieagentur.nrw.de; Marktführer Wärmepumpen. URL: <http://www.nordrheinwestfalendirekt.de/broschuerenservice/download/70194/wp-marktfuehrer2009.pdf>, verfügbar am 19.11.2009

Dr. Weinmeister, Stephan & Partner; info@WP-OPT.de; <http://www.wp-opt.de>, verfügbar am 02.01.2010

BINE Informationsdienst; foerderinfo@bine.info; URL: <<http://www.energiefoerderung.info>>, verfügbar am 10.01.2010

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; info@bmwi.bund.de; URL: <<http://www.foerderdatenbank.de>>, verfügbar am 15.11.2009

Kreditinstitut für Wiederaufbau; info@kfw.de ; URL: <http://www.kfw.de/DE_Home/Service/Foerderprogramme_auf_einen_Blick/Foerderangebot_fuer_Privatkunden.jsp>, verfügbar am 15.11.2009

Dipl.-Ing. TGA* (TU) Schreiner, Michael; Wärmepumpen – Grundlagen. URL:

<<http://energieberatung.ibs-hlk.de/planwp.htm>>, verfügbar am 14.12.2009

fe.bis GmbH und Co. KG; info@fe-bis.de; Fördermittel für Private. URL:

<http://www.foerder-data.de/foerdermittel_privat.html>, verfügbar am 15.11.2009

GED Gesellschaft für Energiedienstleistung - GmbH & Co. KG; info@hea.de; Wärmepumpe.

URL: <<http://www.waerme-plus.de/>>, verfügbar am 23.11.2009

Dipl.-Ing. Marek Miara; marek.miara@ise.fraunhofer.de; Wärmepumpen Effizienz. URL:

<<http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/german/index/index.html>>, verfügbar am 26.11.2009

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; info@ise.fhg.de; Wärmepumpen-Effizienz

- Feldtest des Fraunhofer ISE erste Ergebnisse zeigen hohe Arbeitszahlen für

Erdreichwärmepumpen. URL: <<http://www.ise.fraunhofer.de/presse-und->

[medien/presseinformationen/presseinformationen-2008/waermepumpen-effizienz-feldtest-](http://www.ise.fraunhofer.de/presse-und-medien/presseinformationen/presseinformationen-2008/waermepumpen-effizienz-feldtest-des-fraunhofer-ise)

[des-fraunhofer-ise](http://www.ise.fraunhofer.de/presse-und-medien/presseinformationen/presseinformationen-2008/waermepumpen-effizienz-feldtest-des-fraunhofer-ise)>, verfügbar am 04.12.2008

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese vorgelegte Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen, erstellt habe.

Oberreich, Sven

Name, Vorname

13977

Matrikelnummer

Mittweida, den 26.01.2010

Ort, Datum

Unterschrift